

DIKTAT KULIAH

FISIOLOGI TUMBUHAN



Oleh:




Dede Cahyati Sahrir, M.Pd.

JURUSAN TADRIS BIOLOGI
INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI (IAIN)
SYEKH NURJATI CIREBON
Agustus 2021

INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI (IAIN) SYEKH NURJATI CIREBON



DIKTAT KULIAH FISIOLOGI TUMBUHAN (Kode MK: AF024)

PENGESAHAN		
Disiapkan Oleh:	Diperiksa oleh:	Disahkan Oleh:
Dosen Pengampu	Gugus Mutu Jurusan	Ketua Jurusan Tadris Biologi
		
Dede Cahyati Sahrir, M.Pd.	Dede Cahyati Sahrir, M.Pd.	Dr. Ina Rosdiana L, M.Si.
NIP. 19911205 201801 2 001	NIP. 19911205 201801 2 001	NIP. 19740326 200604 2 001
Tanggal Pengesahan	: 2021	
Halaman	: 48	
Alamat	: Jl. Perjuangan By Pass Sunyaragi Cirebon, Kota Cirebon, Kode Pos 45132	

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah, Tuhan Yang Maha Esa karena hanya atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan Diktat Kuliah Fisiologi Tumbuhan. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah SAW yang membawa cahaya keilmuan kembali di bumi Allah.

Diktat perkuliahan Fisiologi Tumbuhan ini terdiri atas 7 topik yaitu mengenai Transpirasi, Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral, Respirasi Tumbuhan, Fotosintesis, Metabolisme Tumbuhan C₃, C₄ dan CAM, Metabolisme Nitrogen serta Nutrisi Tumbuhan.

Diktat ini ditujukan bagi mahasiswa yang mengikuti matakuliah Fisiologi Tumbuhan pada jurusan Tadris Biologi IAIN Syekh Nurjati Cirebon. Pengembangan wawasan lebih jauh mengenai Fisiologi Tumbuhan dapat dilakukan dengan mengikuti secara aktif perkembangan ilmu ini dalam berbagai jurnal ilmiah yang berkaitan dengan Fisiologi Tumbuhan.

Masukan masukan yang diperoleh setelah diktat ini digunakan para mahasiswa. akan bermanfaat untuk menyempurnakan isi diktat. Terimakasih disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu dalam penyusunan diktat ini.

Cirebon, 29 Agustus 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

Pengesahan	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Transpirasi	1
Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral	6
Respirasi Tumbuhan	11
Fotosintesis	19
Metabolisme Tumbuhan C3, C4 dan CAM	23
Metabolisme Nitrogen	30
Nutrisi Tumbuhan	38

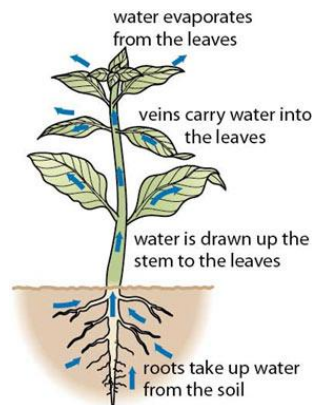
I. TRANSPIRASI

A. Definisi Transpirasi

Transpirasi adalah bagian dari siklus air berupa kemampuan tanaman kehilangan air dalam bentuk uap dari jaringan tumbuhan melalui stomata. Kemungkinan kehilangan air dari jaringan tanaman melalui bagian tanaman yang lain dapat saja terjadi, tetapi porsi kehilangan tersebut sangat kecil dibandingkan dengan yang hilang melalui stomata. (Lakitan, 2007). Oleh sebab itu, dalam perhitungan besarnya jumlah air yang hilang dari jaringan tanaman umumnya difokuskan pada air yang hilang melalui stomata. Transpirasi merupakan bagian dari siklus air, dan itu adalah hilangnya uap air dari bagian tanaman (mirip dengan berkeringat), terutama pada daun tetapi juga di batang, bunga dan akar. Permukaan daun yang dihiasi dengan bukaan yang secara kolektif disebut stomata, dan dalam kebanyakan tanaman mereka lebih banyak pada sisi bawah dedaunan.

Proses transpirasi ini pada dasarnya sama dengan proses fisika yang terlibat dalam penguapan air dari permukaan bebas. Air sangat diperlukan oleh sebagian besar tumbuhan untuk pertumbuhan dan metabolismenya.

B. Mekanisme Transpirasi

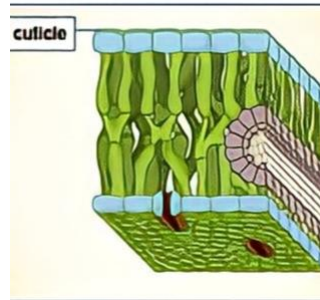


Transpirasi dimulai dengan penguapan air oleh sel sel mesofil ke rongga antar sel yang ada dalam daun. Dalam hal ini rongga antar sel jaringan bunga karang merupakan rongga yang besar, sehingga dapat menampung uap air dalam jumlah banyak. Penguapan air ke rongga antar sel akan terus berlangsung selama rongga antar sel belum jenuh dengan uap air. Sel-sel yang menguapkan airnya ke rongga antar sel, tentu akan mengalami kekurangan air sehingga potensial airnya menurun. Kekurangan ini akan diisi oleh air yang berasal dari xilem tulang daun, yang selanjutnya tulang daun akan menerima air dari batang dan batang menerima dari akar dan seterusnya. Uap air yang terkumpul dalam rongga antara sel akan tetap berada dalam rongga antar sel tersebut, selama stomata pada epidermis daun tidak membuka. Apabila stomata membuka, maka akan ada penghubung antara rongga antar sel dengan atmosfer kalau tekanan uap air di atmosfer lebih rendah dari rongga antar sel maka uap air dari rongga antar sel akan keluar ke atmosfer dan prosesnya disebut transpirasi. Jadi syarat utama untuk berlangsungnya transpirasi adalah adanya penguapan air didalam daun dan terbukanya stomata.

C. Jenis Transpirasi

1. Transpirasi kutikula

Transpirasi kutikula adalah evaporasi air yang terjadi secara langsung melalui kutikula epidermis. Kutikula daun secara relatif tidak tembus air, dan pada sebagian besar jenis tumbuhan transpirasi kutikula hanya sebesar 10%. Oleh karena itu, sebagian besar air yang hilang terjadi melalui stomata, (Khairuna, 2019).



2. Transpirasi stomata

Sel-sel mesofil daun tidak tersusun rapat, tetapi diantara sel-sel tersebut terdapat ruang-ruang udara yang dikelilingi oleh dinding-dinding sel mesofil yang jenuh air. Air menguap dari dinding-dinding basah ini ke ruang-ruang antar sel, dan uap air kemudian berdifusi melalui stomata dari ruang-ruang antar sel ke atmosfer di luar. Sehingga dalam kondisi normal evaporasi membuat ruang-ruang itu selalu jenuh uap air. Asalkan stomata terbuka, difusi uap air ke atmosfer pasti terjadi kecuali bila atmosfer itu sendiri sama-sama lembap, (Khairuna, 2019).

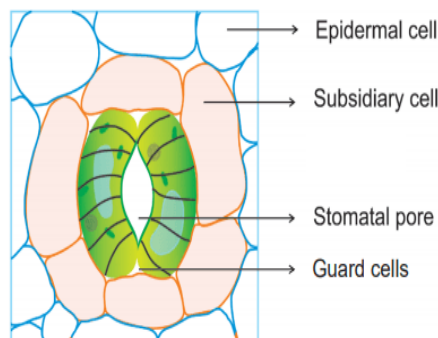
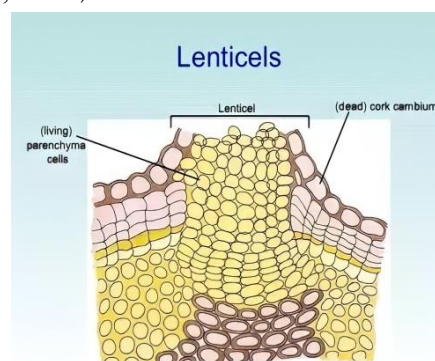


Fig: Structure of Stomata

3. Transpirasi lentisel

Yaitu pada daerah kulit kayu yang berisi sel-sel. Uap air yang hilang melalui jaringan ini adalah 0,1%, (Khairuna, 2019).



D. Fungsi Transpirasi

Fungsi transpirasi pada pertumbuhan tanaman untuk mengetahui kemampuan fotosintesis tanaman dalam kepemilikan terhadap air tersedia dan membantu proses transport unsur hara dan garam-garam mineral dari akar menuju batang dan daun. Proses transpirasi dapat terjadi melalui proses membuka dan menutupnya stomata. Pada kondisi yang memadai, transpirasi mampu menyediakan air yang cukup. Apabila proses transpirasi terganggu maka laju transpirasi akan rendah dan menurunkan turgor pada sel sehingga proses membuka dan menutupnya stomata terhambat (Berg, 2007).

E. Faktor Yang Mempengaruhi Transpirasi

1. Faktor internal

Faktor internal yang mempengaruhi proses transpirasi antara lain :

- a. Penutupan stomata, dengan terbukanya stomata lebih lebar, air yang hilang lebih banyak tetapi peningkatan kehilangan air lebih sedikit untuk masing-masing satuan penambahan pelebaran stomata. Banyak faktor yang mempengaruhi pembukaan dan penutupan stomata, yang paling berpengaruh adalah tingkat cahaya dan kelembapan. Pada sebagian besar tanaman, cahaya dan kelembapan dalam daun yang rendah, sel-sel pengawal kehilangan turgornya mengakibatkan penutupan stomata.
- b. Jumlah dan ukuran stomata, kebanyakan daun dan tanaman yang produktif mempunyai banyak stomata pada kedua sisi daunnya. Jumlah dan ukuran stomata yang dipengaruhi oleh genotip dan lingkungan.
- c. Jumlah Daun, semakin luas daerah permukaan daun, makin besar transpirasi.
- d. Penggulungan atau pelipatan daun, banyak tanaman yang mempunyai mekanisme dalam daun yang menguntungkan pengurangan transpirasi apabila ketersediaan air terbatas.
- e. Kedalaman dan Proliferasi Akar, perakaran yang lebih dalam meningkatkan
- f. ketersediaan air dan proliferasi akar meningkatkan pengambilan air dari suatu
- g. satuan volume tanah sebelum terjadi pelayuan tanaman (Berg, 2007).

2. Faktor eksternal

Faktor eksternal yang mempengaruhi proses transpirasi antara lain :

a. Kelembapan

Pada kondisi cerah udara tidak banyak mengandung air. Pada kondisi tersebut tekanan uap di dalam daun jauh lebih tinggi dibandingkan tekanan uap di luar daun, sehingga molekul-molekul air berdifusi dari konsentrasi yang tinggi (di dalam daun) ke konsentrasi rendah (di luar daun) sehingga melancarkan transpirasi. Sebaliknya jika kondisi udara banyak mengandung awan maka kelembapan antara bumi dengan awan itu sangat tinggi. Dengan demikian maka perbedaan kelembapan udara di dalam dan di luar akan berbeda; keadaan yang demikian ini menghambat difusi uap air dalam sel ke lingkungan (luar daun) dengan artian menghambat transpirasi (Barid, 2007).

b. Temperatur

Kenaikan temperatur menambah tekanan uap di dalam dan di luar daun, namun tekanan di dalam daun jauh lebih tinggi dibandingkan di luar. Akibat dari perbedaan tekanan ini maka uap air di dalam daun lebih mudah berdifusi ke lingkungan (Barid, 2007).

c. Sinar matahari

Sinar matahari menyebabkan membukannya stomata dan gelap menyebabkan menutupnya stomata, sehingga banyak sinar berarti mempercepat laju transpirasi. Karena sinar itu juga mengandung panas, maka banyak sinar berarti juga menambah panas dengan demikian menaikkan temperatur. Kenaikan temperatur sampai pada batas tertentu menyebabkan melebarnya stomata dengan demikian memperbesar laju transpirasi (Barid, 2007).

Cahaya mempengaruhi laju transpirasi melalui dua cara, pertama cahaya akan mempengaruhi suhu daun sehingga dapat mempengaruhi aktifitas transpirasi dan yang kedua dapat mempengaruhi transpirasi melalui pengaruhnya terhadap buka tutupnya stomata.

d. Angin

Angin mempunyai pengaruh ganda yang cenderung saling bertentangan terhadap laju transpirasi. Angin menyapu uap air hasil transpirasi sehingga angin menurunkan kelembaban udara di atas stomata, sehingga meningkatkan kehilangan neto air. Namun jika angin menyapu daun, maka akan mempengaruhi suhu daun. Suhu daun akan menurun dan hal ini dapat menurunkan tingkat transpirasi. Pada umumnya angin yang sedang menambah kegiatan transpirasi. Hal ini dapat dimaklumi karena angin membawa pindah uap air yang bertimbun-timbun dekat stomata. Dengan demikian maka uap yang masih ada di dalam daun kemudian mendapat kesempatan untuk berdifusi ke luar. (Handoko, A & Anisa Mahda, 2020)

e. Ketersediaan air tanah

Laju transpirasi dapat dipengaruhi oleh ketersediaan airtanahdan laju absorpsi air di akar. Pada siang hari biasanya air ditranspirasikan lebih cepat dari pada penyerapan air dari tanah. Hal tersebut menyebabkan defisit air dalam daun sehingga terjadi penyerapan yang besar, pada malam hari terjadi sebaliknya. Jika ketersediaan air tanah menurun sebagai akibat penyerapan oleh akar, gerakan air melalui tanah ke dalam akar menjadi lambat. Hal ini cenderung untuk meningkatkan defisit air di dalam daun dan menurunkan laju transpirasi lebih lanjut (Barid, 2007).

F. Dampak

1. Dampak positif

Bagi tumbuhan, transpirasi yang berlangsung memberikan beberapa manfaat, antara lain :

- a) Membantu penyerapan air dan zat hara oleh akar.
- b) Mengurangi air yang terserap secara berlebihan.
- c) Mempertahankan temperature yang sesuai untuk daun

- d) Mengatur fotosintesis dengan membuka dan menutupnya stomata.
2. Dampak negatif
- Jika tanah kurang lembap, penyerapan air tidak mampu mengimbangi laju transpirasi sehingga tanaman menjadi layu.

REFERENSI

- Barid B. 2007. *Kajian Unit Resapan Dengan Lapisan Tanah Dan Tanaman Dalam Menurunkan Limpasan Permukaan*. Jurnal Berkala Ilmiah Teknik Perairan, Vol 13 (4) :248-255.
- Berg L. 2007. *Botany : Plant, People and Environment Second Edition*. Belmont, California (US) : Thomson Higher Education.
- Handoko, A & Anisa Mahda. 2020. *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Program Study Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung.
- Khairuna. 2019. *Diktat Fisiologi Tumbuhan*. Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Ilmu Tarbiyah Dan Keguruan Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan
- Lakitan, B. 2007. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.

II. TRANSPORTASI DAN PENYERAPAN HARA MINERAL

A. Pengertian Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral pada Tumbuhan

Transportasi tumbuhan merupakan suatu mekanisme proses pengambilan dan pengeluaran zat-zat ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Pada tumbuhan, tempat terjadinya transportasi dibagi menjadi dua. Yaitu pada tumbuhan tingkat rendah, penyerapan air dan zat hara yang terlarut di dalamnya dilakukan melalui seluruh bagian tubuh. Sedangkan pada tumbuhan tingkat tinggi, proses pengangkutan dilakukan oleh pembuluh pengangkut yang terdiri dari xylem dan floem. Mekanisme proses transportasi ini dapat berlangsung karena adanya proses difusi, osmosis, imbibisi dan transpor aktif (Berg, 2007 dalam Handoko 2020).

Mekanisme penyerapan hara yaitu dengan cara Intersepsi Akar dimana akar tanaman hidup tumbuh memanjang dan menerobos partikel-partikel tanah, sehingga terjadi kontak akar dengan hara yang ada dilarutan tanah maupun hara dibagian tanah yang lain. Unsur haranya dalam kondisi statis, akar tanamannya aktif. Makin luas cakupan keberadaan akar didalam tanah, maka makin luas permukaan bidang serapan akar terhadap unsur hara. Penyerapan unsur hara terjadi pada bulu-bulu akar (root hair). Intersepsi akar pada tanaman akan meningkat dengan adanya mikoriza, simbiosis jamur dan akar tanaman. Efek positif mikoriza ini paling besar bila tanaman tumbuh pada tanah-tanah yang kurang subur (Munawar, 2011).

B. Macam-Macam Hara Mineral yang dibutuhkan Tumbuhan

Unsur hara adalah unsur kimia tertentu yang dibutuhkan oleh tanaman untuk mencapai pertumbuhan tanaman yang optimal, dengan catatan faktor yang lain dalam keadaan yang normal. (Rajiman, 2020). Tanaman membutuhkan unsur hara. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman minimal berjumlah 16 jenis esensial (Rajiman, 2020). Menurut Davidescu & Davidescu dalam Rosmakam dan Yuwono (2005) bahwa unsur hara dapat digolongkan menjadi hara esensial dan non esensial (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Penggolongan Unsur Hara dalam Tanaman

Golongan	Esensial		Non Esensial	
	Utama	Kedua	Menaik-kan Produksi	Tidak Menaikkan Produksi
Makro	N, P, K	Ca, Mg, S	Na	Si, V
Mikro	Fe, Mn, Zn, B, Cu	Mo, Co, Cl	Al, I	Ar, Ba, Be, Bi, Br, Cr, F, Li, Pb, Rb, Pt, Sr, Se

Unsur hara yang sering ditemukan pada tanaman terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Sulfur (S), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Seng (Zn), Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Molibdenum (Mo), Boron (Bo), Klor (Cl), Kobal (Co) dan Silikon (Si). Jumlah unsur hara pada tanaman akan mengalami perubahan sesuai fase pertumbuhan dan jenis tanaman, kesuburan tanah dan pengelolaannya.

Berdasarkan kebutuhan tanaman, unsur hara dapat dibagi menjadi 2 yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro.

1. Unsur Hara Makro

adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif banyak (N, P, K, Mg, Ca, dan S). Unsur hara makro lain dapat diperoleh melalui udara berupa C, H dan O. Hara yang berada di udara berbentuk gas CO₂ dan air H₂O.

2. Unsur Hara Mikro

adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil (Cl, Fe, Mn, Cu, Zn, B dan Mo). Ketiga belas unsur hara tersebut dapat dijumpai di dalam tanah. Berdasarkan sumber pengambilan hara dibedakan menjadi 2 sumber yaitu udara dan tanah. Hara yang bersumber dari udara terdiri dari C, H, O, N dan S yang berbentuk CO₂, O₂, N₂, NH₃, H₂O, SO₂ dan SO₄²⁻. Selain hara tersebut, hara akan dapat ditemukan di dalam tanah. Hara yang berada di tanah akan diserap melalui akar tanaman.

C. Mekanisme dan Tempat Terjadinya Proses Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral pada Tumbuhan

Proses terjadinya penyerapan hara dan transpor mineral sendiri secara garis besar dapat terjadi di dua tempat yaitu di bagian daun dan di akar tanaman. Adapun Mekanisme proses transportasi pada tumbuhan dapat berlangsung karena adanya proses berikut yaitu difusi, osmosis, imbibisi dan transpor aktif (Berg, 2007 *dalam* Handoko, 2020).

1. **Difusi** : yaitu perpindahan ion atau molekul dari konsentrasi tinggi (hipertonik) ke konsentrasi rendah (hipotonik) dengan atau tanpa membran semipermeabel. Dengan demikian, difusi terjadi karena perbedaan konsentrasi. Adanya perbedaan konsentrasi tersebut akan menimbulkan tekanan pada molekul-molekul, sehingga molekul-molekul itu menyebar (Devia, 2011 *dalam* Handoko, 2020)

2. **Osmosis** : merupakan proses perpindahan air dari daerah yang berkonsentrasi rendah (*hipotonik*) ke daerah yang berkonsentrasi tinggi (*hipertonik*) melalui membran semipermeabel.

3. **Imbibisi** : yaitu peresapan air ke dalam ruangan antar dinding sel, sehingga dinding selnya akan mengembang. Adapun dalam hubungannya dengan pengambilan zat oleh tumbuhan, imbibisi berarti kemampuan dinding sel dan plasma sel untuk menyerap air dari luar sel. Air yang diserap itulah yang disebut imbibisi. (Devia, 2011 *dalam* Handoko, 2020).

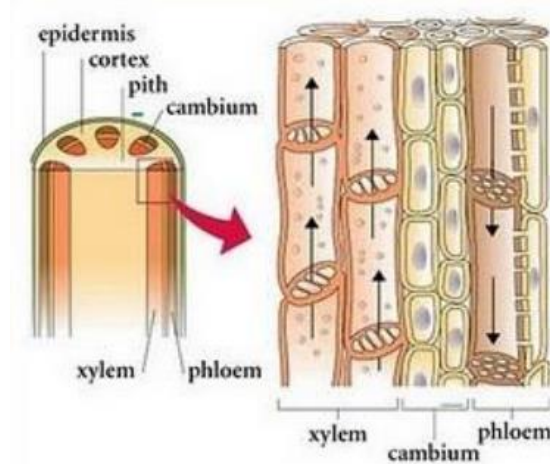
4. **Transpor aktif** : merupakan sistem transportasi suatu molekul melintasi membran dengan menggunakan energi ATP, melibatkan pertukaran ion Na⁺ dan K⁺. disamping itu, juga melibatkan peranan protein pembawa yang dikenal sebagai protein kontraspor. Protein ini mengangkut ion Na⁺ bersama-sama dengan molekul lain seperti gula dan asam amino dari luar sel ke dalam sel. Misal perpindahan air dari korteks ke stele (Dwijoseputro, 1983 *dalam* Handoko, 2020).

• Jenis-jenis Transportasi (Pengangkutan) pada Tumbuhan

a) Transportasi intravaskuler (lintasan air dan mineral dari akar ke daun)

Prosesnya yaitu air dan mineral yang sudah berada di xilem akar lalu menuju batang bergerak menuju xilem pada tangkai daun, lalu masuk ke xilem urat daun. Pada ujung urat daun, air lepas masuk ke lapisan bunga karang dan sel palisade. Air yang ada didalam sel bunga karang lalu diuapkan melalui stomata. Proses penguapan air

yang terjadi lewat stomata tersebut kemudian disebut transportasi atau proses pengangkutan makanan pada tumbuhan.



Gambar 2.1 Transportasi intravaskuler (Sumber: Handoko, 2020)

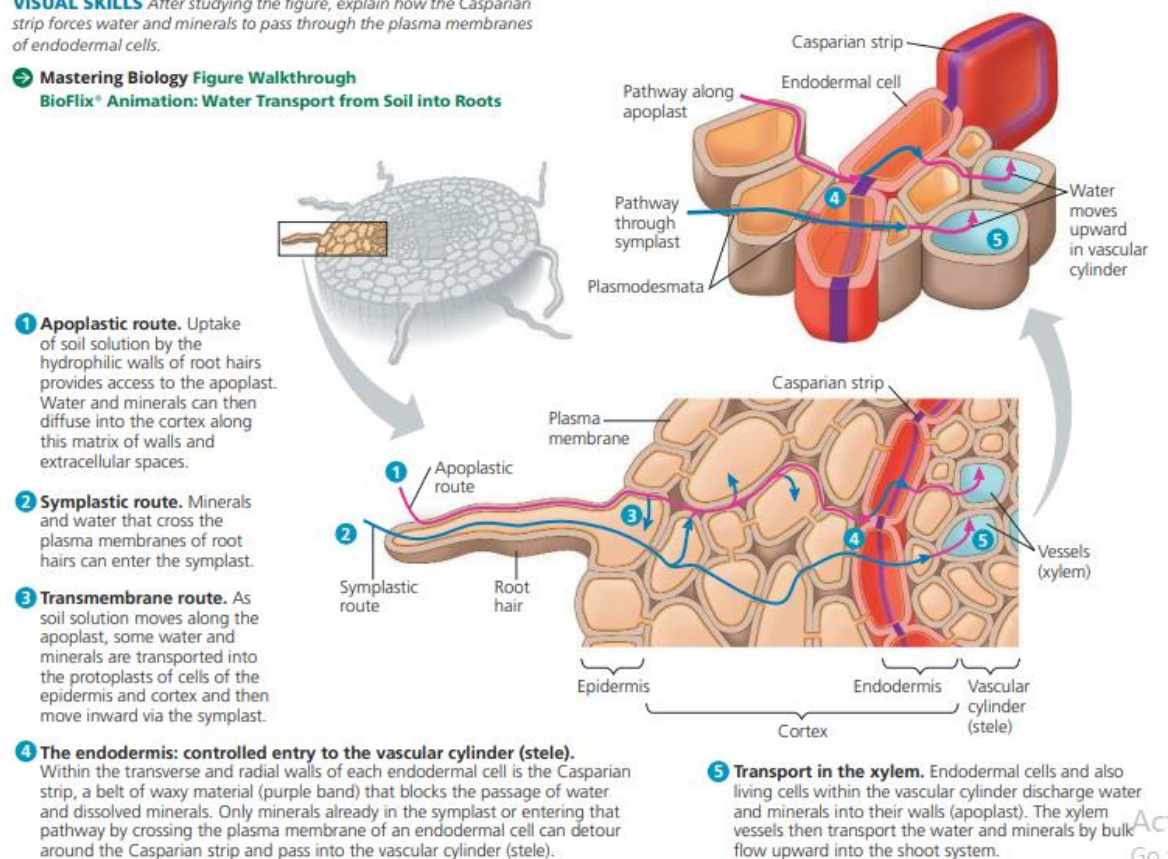
- b) Transportasi ekstravaskuler (Lintasan air dan mineral dari tanah ke akar)
- Transportasi ekstravaskuler adalah pengangkutan air dan zat-zat penting yang terjadi di luar berkas pembuluh pengangkut. Pengangkutan air dan mineral dari dalam tanah di luar berkas pembuluh ini dilakukan melalui 2 mekanisme, yaitu apoplas (melalui ruang antar sel) dan simplas (melalui sitoplasma). Proses dari transportasi ini adalah air dan mineral dari dalam tanah melalui rambut akar menuju ke sel epidermis lalu menuju korteks, setelah itu ke endodermis, lalu silinder pusat. Namun bila terjadi pada akar muda, air dan mineral tersebut langsung menuju ke xilem. Sedangkan pada sel yang sudah tua tidak langsung ke xilem, tetapi menuju ke floem terlebih dahulu, lalu baru kemudian ke sel kambium dan terakhir ke xilem (Filter, 1991 *dalam* Handoko, 2020).

▼ **Figure 36.9 Transport of water and minerals from root hairs to the xylem.**

VISUAL SKILLS After studying the figure, explain how the Casparian strip forces water and minerals to pass through the plasma membranes of endodermal cells.

⇒ **Mastering Biology Figure Walkthrough**

BioFlix® Animation: Water Transport from Soil into Roots



Gambar 2.2 Transport air dan mineral (Sumber : Campbell, 2020)

D. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Proses Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral pada Tumbuhan

Proses pengangkutan air dan zat-zat terlarut hingga sampai ke daun pada tumbuhan dipengaruhi oleh :

1. **Daya kapilaritas** : pembuluh xilem yang terdapat pada tumbuhan dianggap sebagai pipa kapiler. Air akan naik melalui pembuluh kayu sebagai akibat dari gaya adhesi antara dinding pembuluh kayu dengan molekul air.
2. **Daya tekan akar** : tekanan akar pada setiap tumbuhan berbeda-beda. Besarnya tekanan akar dipengaruhi besar kecil dan tinggi rendahnya tumbuhan. Bukti adanya tekanan akar adalah pada batang yang dipotong, maka air tampak menggenang dipermukaan tenggaknya.
3. **Daya hisap daun** : disebabkan adanya penguapan (transpirasi) air dari daun yang besarnya berbanding lurus dengan luas bidang penguapan (intensitas penguapan).
4. **Pengaruh sel-sel yang hidup.**

E. Manfaat Proses Transportasi dan Penyerapan Hara Mineral pada Tumbuhan

1. Dengan adanya transport hara tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang karena proses pengaliran energi yg diperlukan berlangsung.

2. Unsur Nitrogen (N) : berfungsi dalam pembentukan klorofil, penyusun asam amino, asam nukleat, protein (plasma maupun enzim), hormon dan bahan organik lainnya. Jika terjadi kekurangan terhadap unsur ini, maka pembentukan klorofil menjadi terganggu, kandungan protein menurun, pembentukan antosianin menjadi meningkat dan daun berwarna kekuningan dan akhirnya gugur.
3. Posfor (P): unsur sangat diperlukan dalam penyusunan membran plasma, asam nukleat, senyawa berenergi (ATP, GTP dll), sintesis fosfolipida, Monosakarida P (pada asimilasi C), Nukleoprotein. Jika kekurangan P maka pertumbuhan menjadi terhambat, daun menjadi hijau tua dan pembentukan antosianin meningkat, diferensiasi jaringan terganggu. Lembaran dan tangkai daun menjadi mati dan akhirnya daun rontok.
4. Kalium (K): K hanya sedikit yang terlarut dalam larutan tanah, terutama terdapat sebagai bentuk yang dapat ditukar karena terjerap dipermukaan partikel tanah. Terdapat dalam bentuk garam anorganik pada jaringan yang sedang tumbuh. Penting untuk katalisator dalam perubahan asam amino menjadi protein. Jika terjadi kekurangan K akan menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis dan proses pernapasan menjadi lebih lambat, daun menguning dan pertumbuhan menurun. Jaringan mati di bagian tengah atau tepi daun, batang melemah.
5. Kalsium (Ca): Di dalam tanah umumnya berada dalam bentuk CaCO_3 yang mudah dilarutkan dengan pemberian CO_2 dalam air. Berguna untuk menguatkan dinding sel karena merupakan komponen penyusun dinding sel dan lamela tengah dalam bentuk Ca-pektat, mengaktifkan pembelahan sel, membantu pengambilan nitrat, mengaktifkan kerja enzim. Jika kekurangan unsur ini akan menyebabkan desintegrasi pada ujung batang dan ujung akar; daun muda menjadi abnormal bentuknya (keriting, nekrosis).

REFERENSI

- Campbell, *et al.* (2020). *Biology Twelfth Edition*. USA : Pearson
- Handoko, Akbar dan Mahda Rizki.A. (2020). *Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan*. Lampung : UIN Raden Intan Lampung
- Munawar, Ali. 2011. *Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman*. IPB Press.
- Rajiman. (2020). *Pengantar Pemupukan*. Yogyakarta : Deepublish
- Rosmarkam, E dan Yuwono, N. W. 2005. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.

III. RESPIRASI TUMBUHAN

A. Pengertian Respirasi

Respirasi adalah suatu proses pembebasan energy yang tersimpan dalam zat sumber energy melalui proses kimia dengan menggunakan oksigen. Respirasi juga bisa dikatakan sebagai reaksi oksidasi senyawa organik untuk menghasilkan energy, energy ini digunakan untuk aktivitas sel dan kehidupan tumbuhan seperti sintesis (anabolisme), gerak, pertumbuhan, dan perkembangan. Energy yang dihasilkan dalam proses respirasi adalah ATP, NADH, dan FADH. Respirasi juga menghasilkan karbon dioksida yang berperan dalam keseimbangan karbon di alam, respirasi pada tumbuhan berlangsung pada siang hari dan malam karena cahaya bukan merupakan syara.

Respirasi pada tumbuhan pada dasarnya sama dengan hewan, namun juga ada kekhasannya. Proses respirasi pada dasarnya adalah proses pembongkaran zat makanan sumber energi (umumnya glukosa) untuk memperoleh energi kimia berupa ATP. Namun demikian, zat sumber energi tidak selalu siap dalam bentuk glukosa, melainkan masih dalam bentuk cadangan makanan, yaitu berupa sukrosa atau amilum. Karena itu zat tersebut harus terlebih dahulu di bongkar secara hidrolitik. Demikian pula bila zat cangan makanan yang hendak dibongkar adalah lipida (lemak) atau protein.

Ditinjau dari kebutuhannya akan oksigen, respirasi dapat dibedakan menjadi, Respirasi Aerob yaitu respirasi yang menggunakan oksigen bebas untuk mendapatkan energi dan Respirasi Anaerob atau biasa disebut dengan proses fermentasi yaitu Respirasi yang tidak menggunakan oksigen namun bahan bakunya adalah seperti karbohidrat, asam lemak, asam amino sehingga hasil respirasi berupa karbondioksida, air dan energi dalam bentuk ATP.

B. Macam-macam Respirasi

Respirasi berdasarkan kebutuhan oksigennya dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu ada respirasi aerob dan respirasi anaerob. Respirasi aerob yaitu respirasi yang memerlukan oksigen, penguraian lengkap sampai menghasilkan energy, karbon dioksida, dan uap air. Sedangkan respirasi anaerob yaitu respirasi yang tidak memerlukan oksigen tetapi penguraian bahan organiknya tidak lengkap dan jarang terjadi hanya dalam keadaan khusus.

1. Perbedaan respirasi aerob dan anaerob

Respirasi aerob umumnya terjadi pada semua makhluk hidup termasuk tumbuhan, berlangsung seumur hidup, energy yang dihasilkan besar, tidak merugikan tumbuhan, memerlukan oksigen dan hasil akhirnya berupa karbon dioksida dan uap air sedangkan pada respirasi anaerob hanya terjadi pada keadaan khusus yang bersifat sementara(hanya pada fase tertentu saja). Energy yang dihasilkan kecil, jika terjadi terus menerus akan menghasilkan senyawa yang bersifat racun bagi tumbuhan, tidak memerlukan oksigen hasil akhirnya berupa alkohol atau asam laktat dan karbon dioksida.

C. Substrat respirasi

Substrat respirasi adalah setiap bahan organik tumbuhan yang teroksidasi sebagian (menjadi senyawa teroksidasi) atau reduksi sempurna (menjadi karbondioksida dan uap

air) dalam metabolisme respiratoris. Umumnya substrat untuk respirasi adalah zat yang tertimbun dalam jumlah yang relatif banyak dalam sel tumbuhan dan bukan zat yang merupakan senyawa antara hasil dari penguraian. Hasil penguraian biasanya disebut metabolik antara.

Karbohidrat merupakan substrat utama respirasi dalam sel-sel tumbuhan dengan glukosa sebagai molekul pertama. Substrat respirasi yang paling penting di antara karbohidrat adalah sukrosa (disakarida= glukosa dan fruktosa) dan pati (sering terdapat dalam sel tumbuhan sebagai cadangan karbohidrat). Dalam beberapa jaringan tumbuhan, selain karbohidrat, senyawa lain kadang-kadang dapat menjadi substrat respirasi. Pada biji-biji tertentu, seperti jarak, mengandung lemak yang sangat tinggi sebagai bahan cadangan yang terdapat di dalam jaringan endosperma yang mengelilingi embrio. Selama beberapa hari pertama perkecambahan, lemak ini akan diubah menjadi sukrosa yang selanjutnya diserap dan direspirasi oleh embrio yang sedang tumbuh.

Beberapa asam organik dapat digunakan sebagai substrat respirasi misalnya asam organik (asam malat) yang ditimbun dalam daun tumbuhan sukulen familia *Crassulaceae*, asam malat ini direspirasi menjadi karbon dioksida dan uap air melalui mekanisme khusus, asam glikolat yang ditimbun dalam daun yang disinari sebagian besar tumbuhan tinggi juga dapat digunakan untuk respirasi. Protein jarang direspirasi kecuali dalam keadaan tertentu. Protein berperan dalam substrat respirasi selama tahap awal perkecambahan biji yang mengandung protein tinggi sebagai cadangan makanan. Protein akan diubah menjadi asam amino kemudian asam amino diubah menjadi senyawa antara respirasi karbohidrat. Dengan demikian, asam amino direspirasi oleh jalur yang digunakan oleh respirasi glukosa.

D. Mekanisme respirasi

1. Mekanisme Respirasi Aerob

Reaksi respirasi (disebut juga oksidasi biologis) suatu karbohidrat, misalnya glukosa berlangsung dalam empat tahapan, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, piruvat daur sitrat, dan oksidasi terminal dalam rantai respiratoris.



Dalam kenyataan reaksi yang terjadi tidak sesederhana itu. Banyak tahapan yang terjadi dari awal hingga terbentuknya energi. Reaksi-reaksi itu dapat dibedakan menjadi 3 tahapan yaitu glikolisis, siklus krebs dan transport elektron (Syamsuri, 1980).

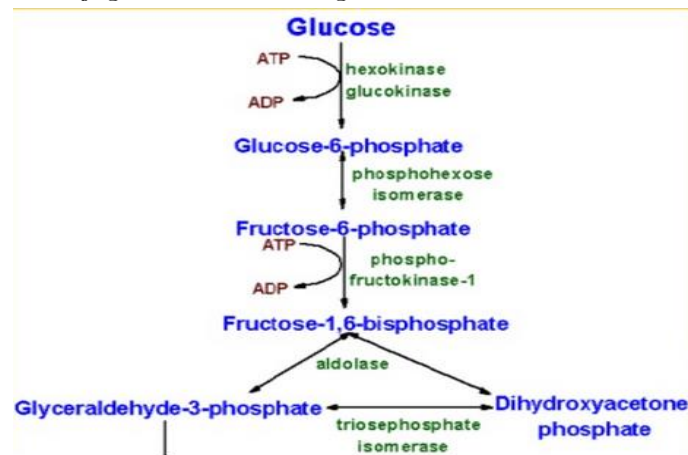
a. Glikolisis

Glikolisis adalah serangkaian reaksi kimia yang mengubah gula heksosa, biasanya glukosa, menjadi asam piruvat. Reaksi glikolisis berlangsung di dalam sitoplasma sel dan tidak memerlukan adanya oksigen. Glikolisis dapat dibagi dalam dua fase utama yaitu :

- Fase persiapan (Glukosa diubah menjadi dua senyawa tiga karbon)
Pada fase ini pertama sekali Glukosa FOSFORILASI oleh ATP dan enzim heksokinase membentuk glukosa- 6 – fosfat dan ADP. Reaksi berikutnya melibatkan perubahan gula aldosa menjadi gula ketosa. Reaksi ini dikatalis oleh enzim fosfogulakoisomerase dan menyebabkan perubahan Glukosa - 6 – fosfat yang difosforilasi oleh ATP dan enzim fosfofktikinaso menghasilkan fruktosa-

1,6- difosfat dan ADP. Selanjutnya fruktosa - 1,6 - difosfat di pecah menjadi dua molekul senyawa tiga karbon yaitu gliseraldehida -3- fosfat dan dihidroaseton fosfat, dengan bantuan enzim aldolase- Dihidroaseton fosfat dikatalis oleh enzim fosfotriosa isomerase menjadi senyawa gliseraldehida - 3 - fosfat. Jadi pada fase ini dihasilkan energi tetapi membutuhkan energi 2 ATP.

- Fase oksidasi (senyawa tiga karbon diubah menjadi asam piruvat)
Dua senyawa gliseraldehida- 3 - fosfat diubah menjadi 1-3, difosforilasi serat . Reaksi ini melibatkan penambahan fosfat anorganik pada karbon pertama dan reduksi NAD menjadi NADH , yang dibantu oleh Enzim fosfogliseraldehida dehidrogenase. Dengan adanya ADP dan enzim fosfogliseratkinase, asam 1-3 difosfogliserat diubah menjadi asam 3- fosfogliserat dan ATP dibentuk. Asam 3- fosfogliserat oleh aktivitas enzim fosfogliseratkinase. Pelepasan air dari 2- fosfogliserat oleh enzim enolase membentuk asam fosfoenol piruvat. Dengan adanya ADP dan piruvat kinase asam fosfoenol piruvat diubah menjadi asam piruvat dan ATP dibentuk pada fase ini dihasilkan dua molekul asam piruvat . Pada fase ini juga dihasilkan energi sebesar 2 NADH² dan 4 ATP.

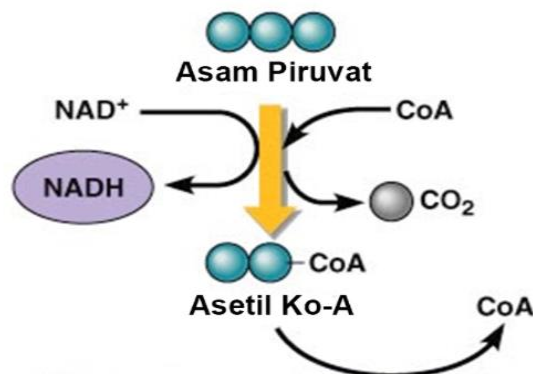


b. Dekarboksilasi Oksidatif Piruvat

Dekarboksilasi oksidatif piruvat adalah reaksi antara yang menghasilkan asetil-CoA. Dekarboksilasi oksidatif piruvat adalah proses pengubahan asam piruvat yang dihasilkan pada tahap akhir glikolisis menjadi senyawa asetil-CoA, yang jika direaksikan dengan asam oksaloasetat akan masuk ke dalam siklus krebs. Reaksi berlangsung pada membran luar mitokondria. Reaksi ini sangat kompleks dan memerlukan beberapa kofaktor dan suatu kompleks enzim.

Langkah pertama adalah pembentukan suatu kompleks antara TPP dan piruvat diikuti dengan dekarboksilasi asam piruvat. Pada langkah kedua, unit asetaldehida yang tertinggal setelah dekarboksilasi, bereaksi dengan asam lipoat membentuk kompleks asetil-asam lipoat Asam lipoat tereduksi dan aldehida dioksidasi menjadi asam yang membentuk suatu tioster dengan asam lipoat. Pada langkah ketiga, terjadi pelepasan gugus asetil dari asam lipoat ke COASH, hasil reaksinya adalah asetil-ScoA dan asam lipoat tereduksi. Langkah terakhir, adalah regenerasi asam lipoat dengan memindahkan elektron dari asam lipoat tereduksi ke NAD Reaksi terakhir ini penting agar suplai asam lipoat teroksidasi

secara berkesinambungan selalu tersedia untuk pembentukan asetil-S-CoA dan asam piruvat. Pada reaksi ini dihasilkan dua molekul asetil CoA, energi sebanyak 2 NADH, dan 2 CO₂.



c. Siklus Krebs

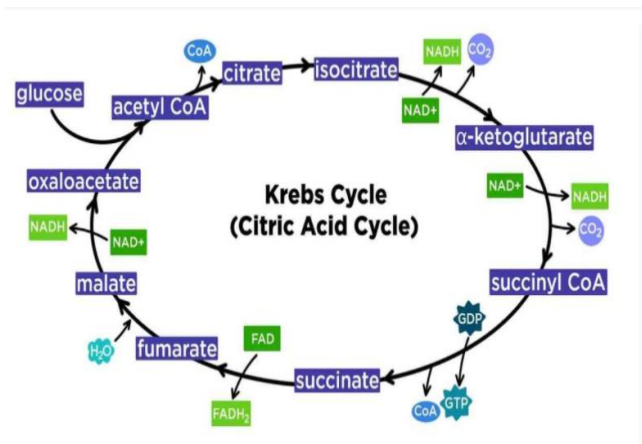
Siklus krebs (daur asam sitrat atau daur trikarboksilar) merupakan pembongkaran asam piruvat secara aerob menjadi karbondioksida dan air serta sejumlah energi kimia. Asetil-CoA merupakan mata rantai penghubung antara glikolisis dan siklus krebs. Reaksi ini berlangsung di dalam matriks mitokondria. Siklus krebs terjadi dalam 2 fase utama:

- **Fase Pembentukan Asam Sitrat**

Reaksi pertama siklus krebs adalah kondensasi asetil-CoA dengan asam oksaloasetat (asam dikarboksilat berkarbon empat) membentuk asam sitrat (asam dikarboksilat berkarbon enam) dan membebaskan koenzim A (CoSH) dengan bantuan enzim kondensasi sitrat

- **Fase Regenerasi Asam Oksaloasetat**

Hidrasi asam sitrat oleh enzim akonitase membentuk asam sis-akonitat. Dengan reaksi yang sama, asam sis-akonitat diubah menjadi asam isositrat. Reaksi berikutnya adalah asam isositrat diubah menjadi asam oksalosuksinat dengan bantuan enzim isositrat dehidrogenase dan NAD atau NADP yang pada akhirnya membentuk NADH; atau NADPH. Reaksi siklus krebs berikutnya adalah dekarboksilasi asam oksalosuksinat membentuk asam α-ketoglutarat, dikatalis enzim karboksilase sehingga menghasilkan CO₂. Selanjutnya, asam α-ketoglutarat diubah menjadi asam suksinil-S-CoA dengan bantuan enzim α-ketoglutarat dehidrogenase dan NAD serta CoASH. Pada reaksi ini dibentuk NADH, dan CoA. Suksinil-S-CoA diubah oleh suksinat tiokinase menjadi asam suksinat dan CoASH. Pada reaksi tiokinase energi yang tersimpan dalam tiester dari suksinil-S-CoA digunakan untuk mengubah ADP-iP menjadi ATP. Oksidasi asam suksinat membentuk asam fumarat dengan bantuan suksinat dehidrogenase dan FAD.



d. Transpor Elektron Dan Fosforilasi Oksidatif

Energi yang terbentuk dari peristiwa glikolisis dan siklus krebs ada dua macam. Pertama dalam bentuk ikatan fosfat berenergi tinggi, yaitu ATP atau GTP (Guanin Tripospat). Energi ini merupakan energi siap pakai yang langsung dapat digunakan. Kedua dalam bentuk transport elektron, yaitu NADH (Nikotin Adenin Dinokleutida) dan FAD (Flavin adenine dinukleotida) dalam bentuk FADH₂. Kedua macam sumber elektron ini dibawa kesistem transfer elektron.

Proses transfer elektron ini sangat kompleks, pada dasarnya, elektron dan H⁺ dan NADH dan FADH₂ dibawa dari satu substrak ke substrak yang lain secara berantai. Setiap kali dipindahkan, energi yang terlepas digunakan untuk mengikatkan fosfat anorganik (P) kemolekul ADP sehingga terbentuk ATP. Pada bagian akhir terdapat oksigen sebagai penerima, sehingga terbentuklah H₂O. katabolisme 1 glukosa melalui respirasi aerobik menghasilkan 3 ATP. Setiap reaksi pada glikolisis, siklus krebs dan transport elektron dihasilkan senyawa – senyawa antara. Senyawa itu digunakan bahan dasar anabolisme (Syamsuri, 1980).

2. Respirasi Anaerob

Respirasi anaerobik adalah reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan oksigen. Respirasi anaerobik menggunakan senyawa tertentu misalnya asam fosfoenol piruvat atau asetal dehidra, sehingga pengikat hidrogen dan membentuk asam laktat atau alkohol. Respirasi anaerobik terjadi pada jaringan yang kekurangan oksigen, akan tumbuhan yang terendam air, biji – biji yang kulit tebal yang sulit ditembus oksigen, sel – sel ragi dan bakteri anaerobik.

Respirasi anaerob terjadi di bagian sitoplasma yang bertujuan mengurangi senyawa organik. Hasil dari respirasi tanpa oksigen ini adalah sejumlah energi yang lebih kecil yaitu 2 ATP.

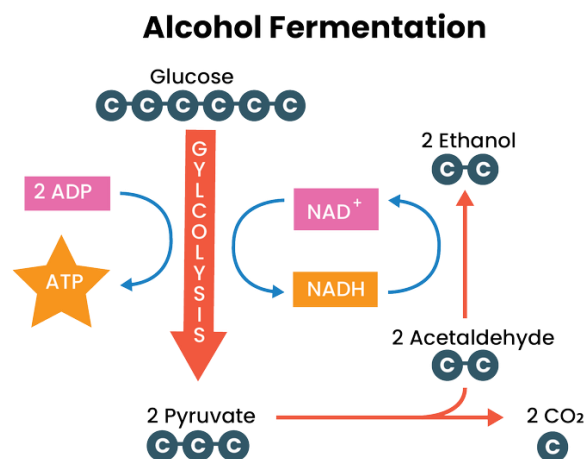
Bahan baku respirasi anaerobik pada peragian adalah glukosa. Selain glukosa, bahan baku seperti fruktosa, galaktosa dan malosa juga dapat diubah menjadi alkohol. Hasil akhirnya adalah alkohol, karbon dioksida dan energi. Glukosa tidak terurai lengkap menjadi air dan karbondioksida, energi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan respirasi aerobik. Reaksinya :



Dari persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa oksigen tidak diperlukan. Bahkan bakteri anaerobik seperti klostidrium tetani (penyebab tetanus) tidak dapat hidup jika berhubungan dengan udara bebas. Infeksi tetanus dapat terjadi jika luka tertutup sehingga member kemungkinan bakteri tambah subur (Syamsuri, 1980).

a. Fermentasi Alkohol

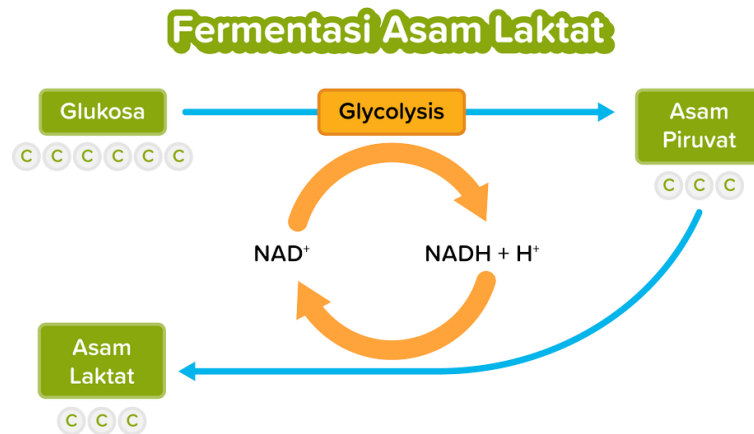
Fermentasi alkohol merupakan suatu reaksi pengubahan glukosa menjadi etanol (etil alkohol) dan karbon dioksida. Organisme yang berperan yaitu *Saccharomyces cerevisiae* (ragi) untuk pembuatan tape, roti atau minuman keras.



Pada alkohol, akan terjadi reaksi dalam fermentasi yang ada pada saat alkohol akan berproses. Awalnya adalah bahan dengan kandungan glukosa yang akan melalui proses lisis di dalam glukosa pada sitoplasma. Reaksi pertama ini adalah pemecahan dari bentuk senyawa yang menjadi 2 piruvat, 2 NADH dan 2 ATP saat selesai terjadi pada proses awal. Reaksi selanjutnya adalah perpindahan ke mitokondria jika dilakukan pada tempat yang banyak oksigen. Namun, karena proses ini juga dengan bantuan *Sacharomyces Cerevisae* maka tanpa oksigen juga tidak masalah. Maka dalam respirasi yang terjadi pada saat itu asam piruvat yang ada akan menjadi asetal dehide dan akan berubah lagi menjadi Etanol nantinya.

b. Fermentasi asam laktat

Proses fermentasi asam laktat berlangsung dengan adanya aktifitas bakteri asam laktat tersebut (*Laktobacillus*). Fermentasi asam laktat berlangsung secara spontan, karena terjadi secara alamiah dengan memperhatikan kondisi lingkungannya yaitu anaerobic dan penggunaan garam secukupnya.



- Proses fermentasi Homolactic
Pada proses ini terjadi perubahan glukosa menjadi piruvat. Lalu terbentuklah 2 molekul asam laktat. Proses ini menggunakan enzim laktat Dehidrogenase.
- Proses Fermentasi Heterofermentatif
Proses ini menggunakan piruvat sebagai penghasil asam laktat, etanol dan karbon dioksida sebagai hasil bawaan bentuk enzim dehidrogenase laktat dan piruvat dekarboksilase

E. Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Respirasi

1. Faktor Internal

a. Jumlah plasma dalam sel

Jaringan-jaringan meristematis muda memiliki sel-sel yang masih penuh dengan plasma dengan viabilitas tinggi biasanya mempunyai kecepatan respirasi yang lebih besar daripada jaringan-jaringan yang lebih tua dimana jumlah plasmanya sudah lebih sedikit.

b. Jumlah substrat respirasi dalam sel

Tumbuhan dengan kandungan substrat yang sedikit akan melakukan respirasi dengan laju yang rendah pula. Sebaliknya, tumbuhan dengan kandungan substrat yang banyak akan melakukan respirasi dengan laju yang tinggi. Substrat utama respirasi adalah karbohidrat.

c. Umur dan tipe tumbuhan

Respirasi pada tumbuhan muda lebih tinggi dari tumbuhan yang sudah dewasa atau lebih tua. Hal ini dikarenakan pada tumbuhan muda jaringannya juga masih dan sedang berkembang dengan baik

2. Faktor Eksternal

a. Suhu

Kecapean reaksi respirasi akan meningkat untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10°C

b. Kadar CO_2 udara

Semakin tinggi konsentrasi karbondioksida diperkirakan dapat menghambat proses respirasi.

c. Cahaya

Cahaya dapat meningkatkan laju respirasi pada jaringan tumbuhan yang berklorofil karena cahaya berpengaruh pada tersedianya substrat respirasi yang dihasilkan dari proses fotosintesis.

d. Kadar Garam

Garam-garam mineral jika akan menyerap garam-garam mineral dari dalam tanah, laju respirasi meningkat.

e. Kadar Air

Pada umumnya dengan naiknya kadar air dalam jaringan kecepatan respirasi juga akan meningkat.

REFERENSI

Champbell, N.A,dkk.2002. “Biologi”. Edisi lima Jilid satu. Erlangga:Jakarta

Dwidjoseputro. 1986. *Biologi*. Erlangga. Jakarta.

Jasin,Maskoeri.1989. Biologi Umum Untuk Perguruan Tinggi. Bina Pustakatama:Surabaya

Kimball, J.W. 2002. *Fisiologi Tumbuhan*. Erlangga. Jakarta.

Lovelles. A. R. 1997. *Prinsip-prinsip Biologi Tumbuhan untuk daerah Tropik*. PT Gramedia. Jakarta.

Simbolon, Hubu dkk. 1989. *Biologi Jilid 3*. Erlangga. Jakarta.

Syamsuri. I. 2000. *Biologi*. Erlangga. Jakar

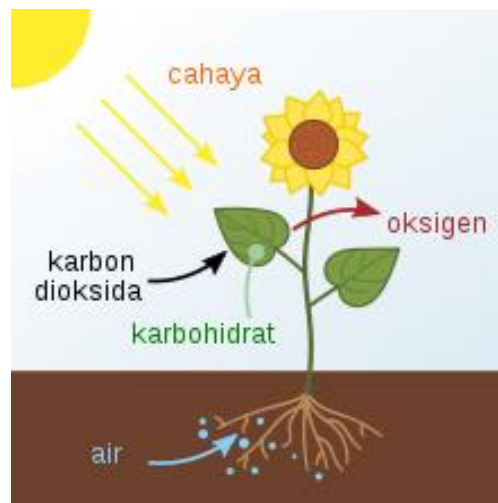
IV. FOTOSINTESIS

A. Pengertian Fotosintesis

Fotosintesis adalah suatu proses biokimia pembentukan karbohidrat dari bahan anorganik yang dilakukan oleh tumbuhan, terutama tumbuhan yang mengandung zat hijau daun, yaitu klorofil. Selain yang mengandung zat hijau daun, ada juga makhluk hidup yang berfotosintesis yaitu alga, dan beberapa jenis bakteri dengan menggunakan zat hara, karbon dioksida, dan air serta dibutuhkan bantuan energi cahaya matahari.

Hampir semua makhluk hidup bergantung pada energi yang dihasilkan dalam fotosintesis. Akibatnya fotosintesis menjadi sangat penting bagi kehidupan di bumi. Fotosintesis juga berjasa menghasilkan sebagian besar oksigen yang terdapat di atmosfer bumi. Organisme yang menghasilkan energi melalui fotosintesis (photos berarti cahaya) disebut sebagai fototrof. Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO_2 diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Cara lain yang ditempuh organisme untuk mengasimilasi karbon adalah melalui kemosintesis, yang dilakukan oleh sejumlah bakteri belerang.

Fungsi utama fotosintesis adalah memproduksi zat makanan berupa glukosa sebagai bahan dasar membentuk lemak dan protein dalam organ tumbuhan. Kandungan zat makanan dalam tumbuhan memiliki manfaat sebagai asupan makanan yang nantinya dikonsumsi bagi hewan serta manusia. Oleh sebab itu, kemampuan tumbuhan mengubah energi cahaya (sinar matahari) menjadi energi kimia (zat makanan) selalu menjadi mata rantai makanan.



2.1 Gambar Ilustrasi Fotosintesis

B. Tempat Terjadinya Fotosintesis

1. Daun

Pada tumbuhan tingkat tinggi, biasanya kloroplas terbatas pada sel batang muda, buah-buahan belum matang, dan daun. Daun inilah yang merupakan pabrik fotosintesis yang sebenarnya pada tumbuhan. Irisan melintang dari daun yang khas menyingkapkan beberapa lapisan jaringan yang berbeda-beda.



2.2 Gambar Daun Sirih

2. Kloroplas

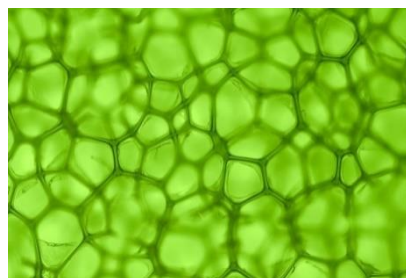
Kloroplas adalah plastida berwarna hijau, umumnya berbentuk lensa, terdapat di dalam sel tumbuhan lumut, paku-pakuan dan tumbuhan berbiji. Garis tengah dari lensa tersebut 2-6 mm, sedangkan tebalnya 0,5-1,0 mm. jika dilihat dengan mikroskop cahaya dengan perbesaran yang paling kuat, kloroplas sering kelihatan berbentuk butir.



2.3 Gambar Kloroplas

3. Klorofil

Klorofil atau zat hijau daun adalah pigmen yang dimiliki oleh berbagai organisme dan menjadi salah satu molekul berperan utama dalam fotosintesis. Distribusi klorofil yang tidak merata pada semua sel tumbuhan dan hanya berkonsentrasi pada kloroplas dapat menghasilkan efek penyingkapan yang efektif. Pada tanaman yang tumbuh di daerah naungan dan dibawah kanopi akan membungkus klorofil (klorofil packaging) dengan memberikan jarak yang lebih lebar di stroma daripada tanaman yang terpapar cahaya langsung



2.4 Gambar Ilustrasi Klorofil

C. Proses Fotosintesis

Proses fotosintesis terdiri dari dua rangkaian proses yang diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan cahaya dan tempat terjadinya, yakni reaksi terang dan reaksi gelap.

1. Reaksi Terang

Reaksi terang adalah reaksi yang membutuhkan cahaya. Reaksi ini terjadi pada bagian tilakoid daun, tepatnya di grana. Pada reaksi terang terjadi proses fotolisis air atau pemecahan air dengan bantuan cahaya. Klorofil akan menyerap energi cahaya matahari,

memecah air (H_2O), menghasilkan oksigen (O_2) dan energi berupa Adenosine Triphosphate (ATP). Reaksi terang ini dapat dibagi lagi menjadi dua bentuk tahapan, yaitu nonsiklik dan siklik. Reaksi nonsiklik melibatkan fotosistem II (P680) elektron akan ditangkap oleh P680 dan disalurkan ke fotosistem I (P700). Sedangkan reaksi siklik terjadi apabila cahaya ditangkap oleh P700 kemudian elektron diteruskan ke akseptor elektron dan kembali ke P700. Penamaan kedua fotosistem tersebut berdasarkan panjang gelombang optimal yang dapat diserap, yakni 680 nm dan 700 nm. Perbedaan yang lain yaitu tahap siklik hanya menghasilkan ATP tanpa adanya proses pembentukan NADPH.

2. Reaksi Gelap

Pada reaksi gelap, terjadi proses yang dinamakan siklus Calvin-Benson yang merupakan reaksi lanjutan dari reaksi terang. Reaksi ini pertama kali ditemukan oleh Melvin Calvin dan Andrew Benson sehingga disebut sebagai reaksi Calvin-Benson. Reaksi gelap ini melibatkan enzim RuBisCO yang bertugas untuk menangkap O_2 dari atmosfer. Reaksi gelap ini akan menghasilkan 3-phosphoglyceraldehyde (PGAL) sebagai bahan dasar pembentukan glukosa.

D. Faktor yang Mempengaruhi Fotosintesis

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses fotosintesis pada tumbuhan adalah sebagai berikut:

1. Intensitas Cahaya yaitu kebutuhan cahaya setiap tanaman berbeda-beda. Ada tanaman jenis C3 dan C4. Tanaman C4 (tebu, jagung, dan sorgum) memiliki toleransi yang tinggi terhadap intensitas cahaya, sedangkan tanaman C3 (kacang-kacangan, kapas, kedelai, kentang, dan gandum) memiliki titik jenuh cahaya, sehingga pada intensitas tinggi tidak akan dapat meningkatkan intensitas fotosintesis.
2. Suhu optimal proses fotosintesis tanaman juga berbeda-beda. Tanaman C4 ($35-40^{\circ}C$) memiliki suhu optimal lebih tinggi dari tanaman C3 ($20-26^{\circ}C$).
3. Umur tanaman semakin dewasa tanaman, jaringan-jaringan akan terbentuk semakin sempurna yang akan meningkatkan efektifitas dan laju proses fotosintesis.
4. Konsentrasi O_2 dan CO_2 salah satu hasil samping fotosintesis adalah O_2 . Semakin banyak O_2 , maka intensitas fotosintesis semakin turun. Sementara itu, CO_2 merupakan bahan dasar fotosintesis. Semakin tinggi konsentrasi CO_2 , maka laju fotosintesis semakin meningkat.

REFERENSI

Campbell, et al. (2020). *Biology*. USA. Pearson.

Lincoln Taiz., Eduardo Zeiger (2010). *Plant Physiology 5th edition: Physiological and Ecological Considerations*, Chapter 9. Sianuer Associates Inc, Publisher Sunderland, Massachusetts, USA.

P.L.Peri., G.Martines Pastur., M.V. Lencinas (2009). Photosynthetic response to different light intensities and water status of two main *Nothofagus* species of southern Patagonian forest, Argentina. *Journal of Forest Science*, 55 (3), 101 – 111.

Samuel C.V Martins., Jeroni Galmes., Paulo C.Cavatte., Lucas F.Pareira., Marilia C. Ventrella and Fabio M. DaMatta (2014). Understanding the Low Photosynthetic Rates of Sun and Shade Coffee Leaves: Bridging the Gap on the Relative Roles of Hydraulic, Diffusive and Biochemical Constraints to Photosynthesis. *Jurnal Plos One*, 9 (4), 1 - 10.

V. METABOLISME TANAMAN C3, C4 DAN CAM

A. Pengertian Metabolisme Pada Tumbuhan

Metabolisme dalam bahasa Yunani *metabolismos* yang berarti perubahan adalah semua reaksi kimia yang terjadi dalam organisme termasuk yang terjadi tingkat seluler. Metabolisme juga disebut reaksi enzimatik, karena metabolisme terjadi selalu menggunakan katalisator enzim. Reaksi-reaksi tersebut adalah dasar dari kehidupan, yang membuat sel dapat tumbuh dan bereproduksi, memperthankan strukturnya, dan merespon lingkungannya. Secara keseluruhan, etabolisme bertanggung jawab terhadap pengaturan materi an sumber energi dari sel. Peran metabolisme inilah yang menjadikan suatu reaksi yang sangat penting bagi kelangsungan hidup makhluk hidup.

Tumbuhan menghasilkan metabolit sekunder yang berfungsi untuk melindungi tumbuhan tersebut dari serangan bakteri, jamur, serangga, dan jenis patogen lainnya serta tumbuhan mamu menghasilkan vitamin untuk kepentingan tumbuhan itu sendiri dan hormon-hormon yang merupakan sarana bagi tumbuhan untuk berkomunikasi antara organnya atau jaringannya dalam mengandalkan dan mengkoordinasikan pertumbuhan dan perkembangannya.

Tumbuhanm mengalami proses metabolisme yang terdiri dari anabolisme, yaitu pembentukan senyawa yang lbih besar dari molekul-molekul yang lebih kecil, yaitu pati, selulose, protein, lemak, dan asam lemak. Proses ini membutuhkan energi. Sedangkan katabolisme adalah mengurai molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil dan menghasilkan energi.

Sel dalam tubuh tumbuhan mampu mengatur lintasan-lintasan metabolik yang dikendalikannya agar terjadi dan dapat mengatur kecepatan reaksi tersebut dengan cara memproduksi katalisator dalam jumlah yang sesuai dan tepat pada saat dibutuhkan. Katalisator inilah yang disebut dengan enzim yang mampu mempercepat laju reaksi berkisar antara 10⁸ sampai 10²⁰.

Seacara umum, metabolisme terdiri atas 2 proses yaitu anabolisme (reaksi penyusunan) dan katabolisme (reaksi pemecahan).

1. Anabolisme

Anabolisme adalah suatu peristiwa penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana. Nama lain dari anabolisme adalah eristiwa atau penyusunan. Contohnya fotosintesis.

2. Katabolisme

Katabolisme adalah suatu reaksi pemecahan/pembongkaran senyawa kimia kompleks yang mengandung energi tinggi menjadi senyawa sederhana yang mengandung energi lebih rendah. Tujuan utama dari katabolisme adalah untuk membebaskan energi yang terkandung didalam senyawa sumber.

B. Pengertian Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses pembentukan karbohidrat atau zat gula(organik) dari karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) dengan bantuan sinar matahari(anorganik). Tumbuhan mampu melakukan fotosintesis karena mempunyai sel-sel yang mengandung klorofil (zat hijau daun). Dalam penemuan fotosintesis, energi cahaya matahari diserap oleh klorofil dan diubah menjadi energi kimia yang disimpan dalam bentuk karbohidrat atau senyawa organik

lainnya. Di dalam tumbuhan karbohidrat diubah menjadi protein, lemak, vitamin, atau senyawa yang lain. Senyawa-senyawa organik ini selain dimanfaatkan oleh tumbuhan itu sendiri, juga dimanfaatkan oleh manusia dan hewan herbivora sebagai bahan makanan.

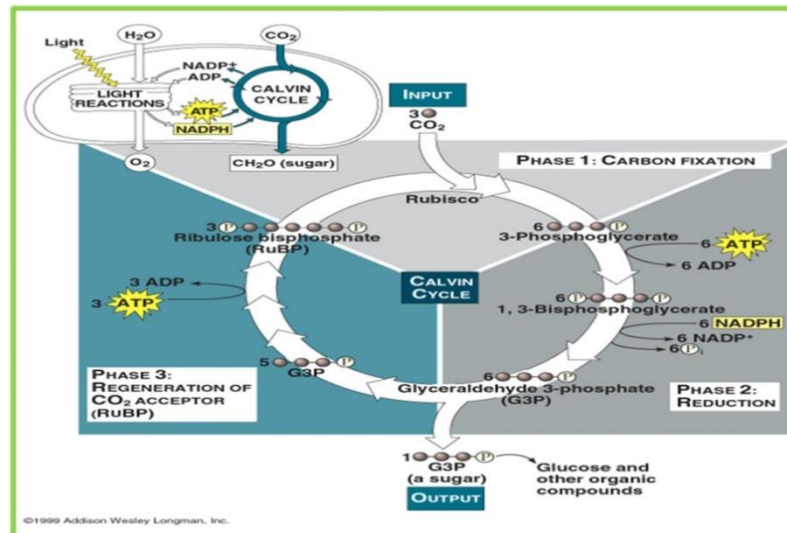
Fotosintesis merupakan salah satu cara asimilasi karbon karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO_2 diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Proses fotosintesis sangat kompleks karena melibatkan semua cabang ilmu pengetahuan alam utama, seperti fisika, kimia, maupun biologi sendiri. Pada tumbuhan, organ utama tempat berlangsungnya fotosintesis adalah daun. Namun secara umum, semua sel yang memiliki kloroplas berpotensi untuk melangsungkan reaksi ini. Di organel inilah tempat berlangsungnya fotosintesis, tepatnya pada bagian stroma. Hasil fotosintesis (fotosintat) biasanya dikirim ke jaringan-jaringan terdekat terlebih dahulu. Pada dasarnya, rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama yaitu reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida).

C. Proses Fotosintesis Pada Tumbuhan C₃, C₄, dan CAM

Fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan C₃, C₄ dan CAM berbeda prosesnya, seperti berikut :

1. Tumbuhan C₃

Tumbuhan C₃ merupakan kelompok tumbuhan yang menghasilkan senyawa phospho glicerid acid yang memiliki tiga atom C pada proses fiksasi CO_2 oleh ribulosa diphosphat. Tumbuhan C₃ lebih adaptif pada kondisi kandungan CO_2 atmosfer tinggi. Sebagian besar tumbuhan pertanian, seperti gandum, kentang, kedelai, kacang-kacangan, dan kapas merupakan tumbuhan dari kelompok C₃. Pada tumbuhan C₃, enzim yang menyatukan CO_2 dengan RuBP (RuBP merupakan substrat untuk pembentukan karbohidrat dalam proses fotosintesis) dalam proses awal asimilasi, juga dapat mengikat O_2 pada saat yang bersamaan untuk proses fotorespirasi (fotorespirasi adalah respirasi, proses pembongkaran karbohidrat untuk menghasilkan energi dan hasil samping, yang terjadi pada siang hari) . Jika konsentrasi CO_2 di atmosfer ditingkatkan, hasil dari kompetisi antara CO_2 dan O_2 akan lebih menguntungkan CO_2 , sehingga fotorespirasi terhambat dan asimilasi akan bertambah besar.



skema fotosintesis tumbuhan C3

Tumbuhan C3 tumbuh dengan karbon fiksasi C3 biasanya tumbuh dengan baik di area dimana intensitas sinar matahari cenderung sedang, temperature sedang dan dengan konsentrasi CO₂ sekitar 200 ppm atau lebih tinggi, dan juga dengan air tanah yang berlimpah. Tumbuhan C3 harus berada dalam area dengan konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi sebab Rubisco sering menyertakan molekul oksigen ke dalam Rubp sebagai pengganti molekul karbondioksida. Konsentrasi gas karbondioksida yang tinggi menurunkan kesempatan Rubisco untuk menyertakan molekul oksigen. Karena bila ada molekul oksigen maka Rubp akan terpecah menjadi molekul 3 karbon yang tinggal dalam siklus Calvin, dan 2 molekul glikolat akan dioksidasi dengan adanya oksigen, menjadi karbondioksida yang akan menghabiskan energi. Pada tumbuhan C3, CO₂ hanya difiksasi RuBP oleh karboksilase RuBP. Karboksilase RuBP hanya bekerja apabila CO₂ jumlahnya berlimpah. Contoh tumbuhan C3 antara lain : kedelai, kacang tanah, kentang, dll.

2. Tumbuhan C4

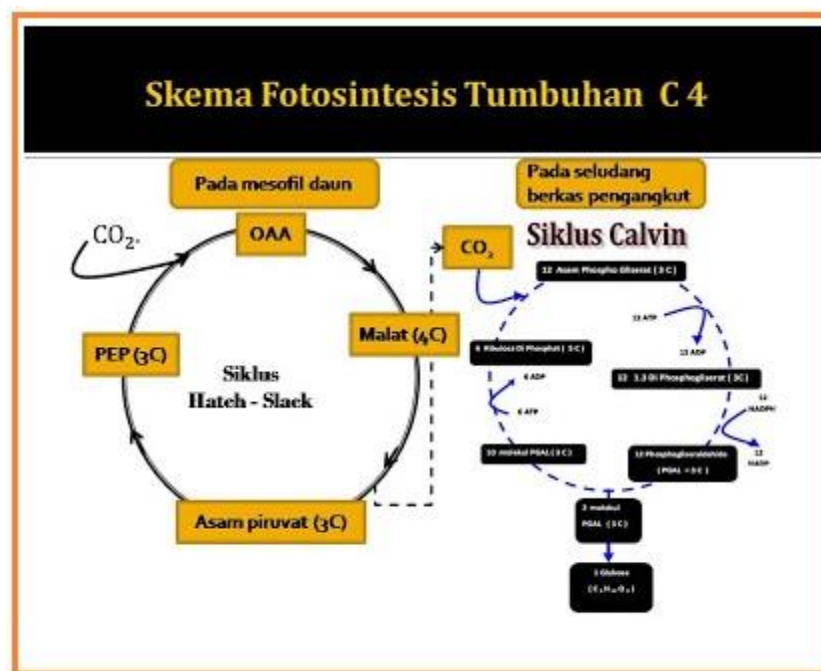
Secara umum, tumbuhan C4 dan CAM lebih adaptif di daerah panas dan kering. Tumbuhan C4 adalah kelompok tumbuhan yang melakukan persiapan proses reaksi gelap fotosintesis melalui jalur 4 karbon sebelum memasuki tahap siklus Calvin untuk meminimalkan keperluan fotorespirasi. Pada tumbuhan C4, CO₂ diikat oleh PEP (enzim pengikat CO₂ pada tumbuhan C4) yang tidak dapat mengikat O₂ sehingga tidak terjadi kompetisi antara CO₂ dan O₂. Lokasi terjadinya asosiasi awal ini adalah di sel-sel mesofil (sekelompok sel-sel yang mempunyai klorofil yang terletak di bawah sel-sel epidermis daun). CO₂ yang sudah terikat oleh PEP kemudian ditransfer ke sel-sel "bundle sheath" (sekelompok sel-sel di sekitar xylem dan phloem) dimana kemudian pengikatan dengan RuBP terjadi.

Karena tingginya konsentrasi CO₂ pada sel-sel bundle sheath ini, maka O₂ tidak mendapat kesempatan untuk bereaksi dengan RuBP, sehingga fotorespirasi sangat kecil and G sangat rendah, PEP mempunyai daya ikat yang tinggi terhadap CO₂, sehingga reaksi fotosintesis terhadap CO₂ di bawah 100 m mol m⁻² s⁻¹ sangat tinggi. , laju asimilasi tumbuhan C4 hanya bertambah sedikit dengan meningkatnya CO₂. Sehingga, dengan meningkatnya CO₂ di atmosfer, tumbuhan C3 akan lebih beruntung dari

tumbuhan C₄ dalam hal pemanfaatan CO₂ yang berlebihan. Contoh tumbuhan C₄ adalah jagung, sorgum dan tebu.

Tetapi pada sintesis C₄, enzim karboksilase PEP memfiksasi CO₂ pada akseptor karbon lain yaitu PEP. Karboksilase PEP memiliki daya ikat yang lebih tinggi terhadap CO₂ daripada karboksilase RuBP. Oleh karena itu, tingkat CO₂ menjadi sangat rendah pada tumbuhan C₄, jauh lebih rendah daripada konsentrasi udara normal dan CO₂ masih dapat terfiksasi ke PEP oleh enzim karboksilase PEP. Sistem perangkap C₄ bekerja pada konsentrasi CO₂ yang jauh lebih rendah.

Reaksi dimana CO₂ dikonversi menjadi asam malat atau asam aspartat adalah melalui penggabungannya dengan fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk oksaloasetat dan Pi. Enzim PEP-karboksilase ditemukan pada setiap sel tumbuhan yang hidup dan enzim ini yang berperan dalam memacu fiksasi CO₂ pada tumbuhan C₄. Enzim PEP-karboksilase terkandung dalam jumlah yang banyak pada daun tumbuhan C₄, pada daun tumbuhan C₃ dan pada akar, buah-buahan dan sel-sel tanpa klorofil lainnya ditemukan suatu isozim dari PEP-karboksilase. Reaksi untuk mengkonversi oksaloasetat menjadi malat dirangsang oleh enzim malat dehidrogenase dengan kebutuhan elektronnya disediakan oleh NADPH. Oksaloasetat harus masuk ke dalam kloroplas untuk direduksi menjadi malat. Pembentukan aspartat dari malat terjadi di dalam sitosol dan membutuhkan asam amino lain sebagai sumber gugus aminonya. Proses ini disebut transaminasi.



skema fotosintesis tumbuhan C₃

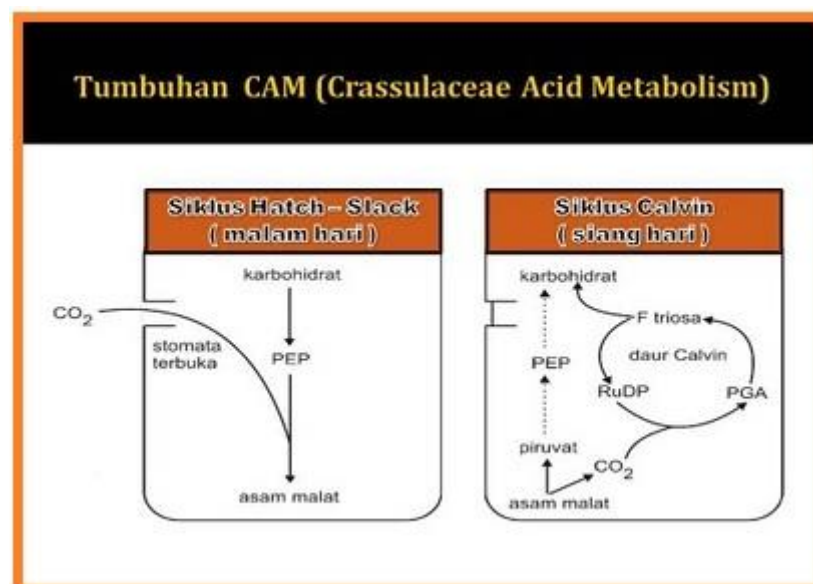
Pada tumbuhan C-4 terdapat pembagian tugas antara 2 jenis sel fotosintetik, yakni sel mesofil dan sel-sel bundle sheath atau sel seludangberkas pembuluh. Sel seludangberkas pembuluh disusun menjadi kemasan yang sangat padat disekitar berkas pembuluh. Diantara seludang-berkas pembuluh dan permukaan daun terdapat sel mesofil yang tersusun agak longgar. Siklus calvin didahului oleh masuknya CO₂ ke dalam senyawa organik dalam mesofil.

Langkah pertama ialah penambahan CO₂ pada fosfoenolpiruvat (PEP) untuk membentuk produk berkarbon empat yaitu oksaloasetat, Enzim PEP karboksilase menambahkan CO₂ pada PEP. Karbondioksida difiksasi dalam sel mesofil oleh enzim PEP karboksilase. Senyawa berkarbon-empat-malat, dalam hal ini menyalurkan atom CO₂ kedalam sel seludang-berkas pembuluh, melalui plasmodesmata. Dalam sel seludang -berkas pembuluh, senyawa berkarbon empat melepaskan CO₂ yang diasimilasi ulang kedalam materi organik oleh rubisco dan siklus Calvin. Dengan cara ini, fotosintesis C₄ meminimumkan fotorespirasi dan meningkatkan produksi gula. Adaptasi ini sangat bermanfaat dalam daerah panas dengan cahaya matahari yang banyak, dan dilingkungan seperti inilah tumbuhan C₄ sering muncul dan tumbuh subur.

3. Tumbuhan CAM

Crassulacean acid metabolism (CAM), merupakan jenis tumbuhan yang mengambil CO₂ pada malam hari, dan menggunakannya untuk fotosintesis pada siang harinya. Meski tidak mengeluarkan oksigen di malam hari, namun dengan memakan CO₂ yang beredar, tumbuhan ini sudah membantu kita semua menghirup udara bersih, lebih sehat, menyejukkan dan menyegarkan bumi, tempat tinggal dan ruangan. Jadi, cocok buat taruh di ruang tidur misalnya. Akan tetapi, hanya sekitar 5% tumbuhan jenis ini yang mudah ditemukan. Tumbuhan CAM yang dapat mudah ditemukan adalah nanas, kaktus, dan bunga lili.

Kelompok tumbuhan ini melakukan penambatan CO₂ seperti pada tumbuhan C₄, tetapi dilakukan pada malam hari dan dibentuk senyawa dengan gugus 4-C. Pada hari berikutnya (siang hari) pada saat stomata dalam keadaan tertutup terjadi dekarboksilase senyawa C₄ tersebut dan penambatan kembali CO₂ melalui kegiatan Rudp karboksilase. Jadi tumbuhan CAM mempunyai beberapa persamaan dengan kelompok C₄ yaitu dengan adanya dua tingkat sistem penambatan CO₂.



Pada tumbuhan C₄ terdapat pemisahan ruang sedangkan pada tumbuhan CAM pemisahannya bersifat sementara. Beberapa tumbuhan CAM dapat beralih ke jalur C₃ bila keadaan lingkungan lebih baik. Beberapa spesies tumbuhan mempunyai sifat yang berbeda dengan kebanyakan tumbuhan lainnya, yakni jenis tumbuhan CAM yang

membuka stomatanya pada malam hari dan menutupnya pada siang hari. Kelompok tumbuhan ini umumnya adalah tumbuhan jenis sukulen yang tumbuh di daerah kering. Dengan menutup stomata pada siang hari membantu tumbuhan ini menghemat air, dapat mengurangi laju transpirasinya, sehingga lebih mampu beradaptasi pada daerah kering tersebut.

Selama malam hari, ketika stomata tumbuhan itu terbuka, tumbuhan ini mengambil CO₂ dan memasukkannya ke dalam berbagai asam organik. Cara fiksasi karbon ini disebut metabolisme asam krusulase, atau crassulacean acid metabolism (CAM). Dinamakan demikian karena metabolisme ini pertama kali diteliti pada tumbuhan dari famili crassulaceae. Jalur CAM serupa dengan jalur C₄, dimana karbon dioksida terlebih dahulu dimasukkan ke dalam senyawa organik intermediat sebelum karbon dioksida ini memasuki siklus Calvin. Perbedaannya ialah bahwa pada tumbuhan C₄, kedua langkah ini terjadi pada ruang yang terpisah. Langkah ini dipisahkan pada dua jenis sel. Pada tumbuhan CAM, kedua langkah dipisahkan untuk sementara. Fiksasi karbon terjadi pada malam hari, dan siklus Calvin berlangsung selama siang hari.

D. Perbedaan Tumbuhan C₃, C₄ dan CAM

Berdasarkan tipe fotosintesis, tumbuhan dibagi menjadi dalam tiga kelompok besar yaitu C₃, C₄, dan CAM. Berikut dapat dilihat tabel perbedaan dari ketiganya :

C ₃	C ₄	CAM (Crassulacean Acid Metabolism)
Lebih adaptif pada kondisi kandungan CO ₂ atmosfer tinggi	Adaptif di daerah panas dan kering	Adaptif di daerah panas dan kering
Enzim yang menyatukan CO ₂ dengan RuBP juga dapat mengikat O ₂ pada saat yang bersamaan untuk proses fotorespirasi	CO ₂ diikat oleh PEP yang tidak dapat mengikat O ₂ sehingga tidak terjadi kompetisi antara CO ₂ dan O ₂	Pada malam hari asam malat tinggi, pada siang hari asam malat rendah lintasan.
Karbon dioksida masuk ke siklus Calvin secara langsung	Tidak mengikat karbon dioksida secara langsung	Tidak mengikat karbon dioksida secara langsung
Disebut tumbuhan C ₃ karena senyawa awal yang terbentuk berkarbon 3 (Fosfoglisarat)	Sel seludang pembuluh berkembang dengan baik dan banyak mengandung kloroplas.	Umumnya tumbuhan yang beradaptasi pada keadaan kering seperti kaktus, anggrek, dan nanas.
Sebagian besar tumbuhan tinggi masuk ke dalam kelompok tumbuhan C ₃	Fotosintesis terjadi di dalam sel mesofil dan sel seludang pembuluh	Reduksi karbon melalui lintasan C ₄ dan C ₃ dalam sel mesofil tetapi waktunya berbeda.

C3	C4	CAM (Crassulacean Acid Metabolism)
Apabila stomata menutup akibat stress terjadi peningkatan O ₂ olehh enzim Rubisco	Pengikatan CO ₂ di udara melalui lintasan C4 di sel mesofil dan reduksi karbon melalui siklus calvin (siklus C3) didalam sel seludang pembuluh	Pada malam hari terjadi lintasan C4 pada siang hari terjadi siklus C3

Perbedaan yang mendasar antara tanaman tipe C3, C4 dan CAM adalah pada reaksi yang terjadi di dalamnya. Yang dimana pada tanaman yang bertipe C3 produk awal reduksi CO₂ (fiksasi CO₂) adalah asam 3-fosfoglisarat atau PGA. Terdiri atas sekumpulan reaksi kimia yang berlangsung di dalam stroma kloroplas yang tidak membutuhkan energi dari cahaya matahari secara langsung. Sumber energi yang diperlukan berasal dari fase terang fotosintesis. Sekumpulan reaksi tersebut terjadi secara simultan dan berkelanjutan. Memerlukan energi sebanyak 3 ATP. PGAL yang dihasilkan dapat digunakan dalam peristiwa yaitu sebagai bahan membangun komponen struktural sel, untuk pemeliharaan sel dan disimpan dalam bentuk pati.

Pada tanaman tipe C4 yang menjadi cirinya adalah produk awal reduksi CO₂ (fiksasi CO₂) adalah asam oksaloasetat, malat, dan aspartat (hasilnya berupa asam-asam yang berkarbon C4). Reaksinya berlangsung di mesofil daun, yang terlebih dahulu bereaksi dengan H₂O membentuk HCO₃ dengan bantuan enzim karbonik anhidrase. Memiliki sel seludang di samping mesofil. Tiap molekul CO₂ yang difiksasi memerlukan 2 ATP. Tanaman c4 juga mengalami siklus calvin seperti pada tanaman C3 dengan bantuan enzim Rubisko.

Sedangkan pada tanaman tipe CAM yang menjadi ciri mendasarnya adalah memiliki daun yang cukup tebal sehingga laju transpirasinya rendah. Stomatanya membuka pada malam hari. Pati diuraikan melalui proses glikolisis dan membentuk PEP. CO₂ yang masuk setelah bereaksi dengan air seperti pada tanaman C4 difiksasi oleh PEP dan diubah menjadi malat. Pada siang hari malat berdifusi secara pasif keluar dari vakuola dan mengalami dekarboksilasi. Melakukan proses yang sama dengan tanaman C3 pada siang hari yaitu daur Calvin. Melakukan proses yang sama dengan tanaman C4 pada malam hari yaitu daur Hatch dan Slack.

REFERENSI

Campbell, et al. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid 3*. Erlangga. Jakarta.

Lakitan, B. 2004. *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Rajawali Press. Jakarta

Yuwono, T. 2005. *Biologi Molekuler*. Erlangga. Jakarta

<http://www.ipard.com/publikasi/e-jurnal/biotek/MP72-02-03.pdf>.

<http://umbletask.wordpress.com/category/biologi/> <http://slideshare.net>

VI. METABOLISME NITROGEN

A. Pengertian Metabolisme Nitrogen

Berbagai bentuk nitrogen dijumpai di lingkungan kita perubahan berkesinambungan berbagai bentuk nitrogen oleh proses fiksasi dan biologi merupakan daur nitrogen. gas nitrogen banyak terdapat di atmosfer. sumber nitrogen pada tanaman adalah N_2 atmosfer. dalam bentuk N_2 tidak dapat langsung dimanfaatkan tanaman dan terlebih dahulu dirubah menjadi nitrat atau ammonium melalui proses tertentu sehingga tersedia bagi tanaman.

Nitrogen adalah unsur kimia yang memiliki lambang N, nomor atom dari 7 dan massa atom 14,00674 u. Elemental nitrogen tidak berwarna, tidak berbau, tawar dan kebanyakan lembam diatomik gas pada kondisi standar, merupakan 78% dari volume atmosfer bumi. Banyak senyawa penting industri, seperti amonia, asam nitrat, nitrat organik (propellants dan bahan peledak), dan sianida, mengandung nitrogen. Ikatan yang sangat kuat dalam unsur kimia nitrogen mendominasi, menyebabkan kesulitan untuk kedua organisme dan industri dalam mematahkan ikatan untuk mengubah N_2 menjadi senyawa yang berguna, tetapi melepaskan sejumlah besar energi sering berguna, ketika senyawa tersebut terbakar, meledak, atau pembusukan kembali menjadi gas nitrogen.

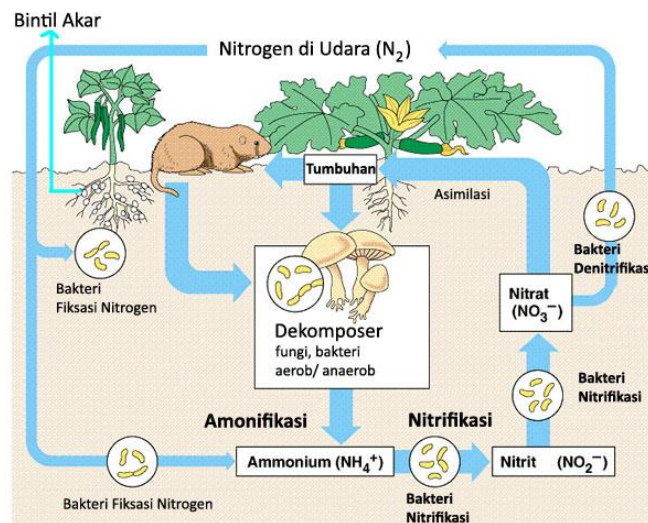
Metabolism nitrogen dapat didefinisikan sebagai serangkaian dari proses biokimia yang mengambil tempat didalam atau di luar tumbuhan tanaman berupa pembentukan kompleks nitrogen dari molekul-molekul sederhana dan perombakan kompleks nitrogen menjadi molekul-molekul sederhana pembentuknya. metabolisme nitrogen termasuk di dalamnya anabolisme yaitu pembentukan dan katabolisme yaitu peruses perombakan. serangkaian reaksi metabolisme nitrogen dari atmosfer dan kembali lagi ke atmosfer dinamakan siklus nitrogen, siklus utama nitrogen meliputi fiksasi, ammonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi. (Ahmad, 2004)

B. Siklus Metabolisme Nitrogen

Siklus nitrogen adalah proses di mana nitrogen dari atmosfer diubah menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman dan hewan atau merupakan proses perubahan nitrogen anorganik menjadi nitrogen organik yaitu amonia (NH_3), NO_2 , NO_3 kemudian menjadi nitrogen anorganik lagi. Nitrat merupakan zat nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk dapat tumbuh dan berkembang, sementara nitrit merupakan senyawa toksik yang dapat mematikan organisme air. Keberadaan nitrat di perairan sangat dipengaruhi oleh buangan yang dapat berasal dari industri, bahan peledak, piroteknik dan pemupukan.

Secara alamiah kadar nitrat biasanya rendah namun kadar nitrat dapat menjadi tinggi sekali dalam air tanah di daerah yang diberi pupuk nitrat/nitrogen (Alaerts, 1987). Gas nitrogen banyak terdapat di atmosfer, yaitu 80% dari udara. Nitrogen bebas dapat difiksasi terutama oleh tumbuhan yang berbintil akar (misalnya jenis polongan) dan beberapa jenis ganggang. Nitrogen bebas juga dapat bereaksi dengan hidrogen atau oksigen dengan bantuan petir. Unsur hara yang tidak kalah pentingnya dengan karbohidrat ialah protein, yakni suatu senyawa yang mengandung nitrogen disamping C, H, dan O. Dan kita ketahui, udara mengandung 79 % nitrogen. Nitrogen bebas ini

(dalam bentuk N_2) dapat difiksasi terutama oleh tumbuhan yang berbintil akar (misalnya jenis polongan) dan beberapa jenis ganggang. Nitrogen bebas ini mempunyai sifat lembab (tidak mudah bereaksi). Sehingga untuk memecahnya diperlukan energi tinggi, seperti contoh bantuan petir. Selain itu, nitrogen bebas ini diasimilasi oleh tumbuhan lewat perakaran dalam bentuk nitrat. Nitrogen yang diikat biasanya dalam bentuk amonia. Amonia diperoleh dari hasil penguraian jaringan yang mati oleh bakteri. Amonia ini akan dinitrifikasi oleh bakteri nitrit, yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus* sehingga menghasilkan nitrat yang akan diserap oleh akar tumbuhan. Selanjutnya oleh bakteri denitrifikasi, nitrat diubah menjadi amonia kembali, dan amonia diubah menjadi nitrogen yang dilepaskan ke udara. Dengan cara ini siklus nitrogen akan berulang dalam ekosistem. Berikut ini penjelasan lebih lanjut dari proses-proses dalam siklus nitrogen :



1. Fiksasi nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang sangat penting baik secara khusus ataupun umum. Proses utamanya adalah untuk menjaga keseimbangan kehilangan N pada saat denitrifikasi. Fiksasi nitrogen adalah proses alam, biologis atau abiotik yang mengubah nitrogen di udara menjadi amonia (NH_3). Mikroorganisme yang memfiksasi nitrogen disebut diazotrof. Mikroorganisme ini memiliki enzim nitrogenase yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen. Reaksi untuk fiksasi nitrogen biologis ini dapat ditulis sebagai berikut :



Mikroorganisme yang melakukan fiksasi nitrogen antara lain: *Cyanobacteria*, *Azotobacteraceae*, *Rhizobia*, *Clostridium*, dan *Frankia*. Fiksasi Nitrogen dapat dihambat dengan konsentrasi N yang tinggi, umumnya proses fiksasi nitrogen tidak terjadi

pada ekosistem yang kaya akan nitrogen. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan proses fiksasi nitrogen sangat tinggi dan biasanya dihasilkan oleh beberapa aktivitas fotosintesis.

Ada empat cara yang dapat mengkonversi unsur nitrogen di atmosfer menjadi bentuk yang lebih reaktif :

- Fiksasi biologis:** beberapa bakteri simbiotik (paling sering dikaitkan dengan tanaman polongan) dan beberapa bakteri yang hidup bebas dapat memperbaiki

nitrogen sebagai nitrogen organik. Sebuah contoh dari bakteri pengikat nitrogen adalah bakteri *Rhizobium* mutualistik, yang hidup dalam nodul akar kacang-kacangan. Spesies ini diazotrophs. Sebuah contoh dari hidup bebas bakteri *Azotobacter*.

- b. **Industri fiksasi:** Di bawah tekanan besar, pada suhu 600° C, dan dengan penggunaan katalis besi, nitrogen atmosfer dan hidrogen (biasanya berasal dari gas alam atau minyak bumi) dapat dikombinasikan untuk membentuk amonia (NH₃). Dalam proses Haber-Bosch, N₂ adalah diubah bersamaan dengan gas hidrogen (H₂) menjadi amonia (NH₃), yang digunakan untuk membuat pupuk dan bahan peledak.
- c. **Pembakaran bahan bakar fosil :** mesin mobil dan pembangkit listrik termal, yang melepaskan berbagai nitrogen oksida (NO_x).
- d. **Proses lain:** Selain itu, pembentukan NO dari N₂ dan O₂ karena foton dan terutama petir, dapat memfiksasi nitrogen. Hasil penelitian tentang fiksasi N ini menunjukkan bahwa ada cukup banyak genera bakteri yang dapat mem-fiksasi N termasuk spesies dari *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Vibrio*. Pada habitat perairan, cyanobacteria adalah kelompok utama yang melakukan fiksasi N (*Anabaena*, *Nostoc*, *Gloeotrichia*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, dll) Komponen yang berperan dalam fiksasi N di habitat perairan adalah heterocyst, tapi ada cyanobacteria yg tidak memiliki heterocyst yg juga dpt fiksasi N. Fiksasi N memerlukan cukup banyak energi dalam bentuk ATP dan koenzim

2. Asimilasi

Asimilasi merupakan Penyerapan dan penggabungan dengan unsur lain membentuk zat baru dengan sifat baru. Senyawa Nitrat (NO₃⁻) diserap oleh tumbuhan mengalami proses asimilasi menjadi bahan penyusun organ pada tumbuhan. Tumbuhan sebagai Produsen dikonsumsi oleh manusia dan hewan. Nitrogen pada biomassa tumbuhan masuk ke dalam proses biokimia pada manusia dan hewan. Jumlah relatif NO₃⁻ dan nitrogen organik dalam xylem bergantung pada kondisi lingkungan. Jenis tumbuhan yang akarnya mampu mengasimilasi N, dalam cairan xylem dijumpai banyak asam amino, urine, tidak dijumpai NH₄⁺. Sedangkan jika di dalam cairan xylem mengandung NO₃⁻ berarti akar tumbuhan itu tidak mampu mengasimilasi NO₃⁻. Kalau dalam lingkungan perakaran NO₃⁻ terdapat dalam jumlah besar, cairan xylem akan mengandung NO₃⁻ juga. Tanaman mendapatkan **nitrogen** dari tanah melalui absorpsi akar baik dalam bentuk **ion nitrat** atau **ion amonium**. Sedangkan hewan memperoleh **nitrogen** dari tanaman yang mereka makan. Tanaman dapat menyerap **ion nitrat** atau **amonium** dari tanah melalui rambut akarnya. Jika **nitrat** diserap, pertama-tama direduksi menjadi **ion nitrit** dan kemudian **ion amonium** untuk dimasukkan ke dalam asam amino, asam nukleat, dan klorofil. Pada tanaman yang memiliki hubungan mutualistik dengan *rhizobia*, **nitrogen** dapat berasimilasi dalam bentuk **ion amonium** langsung dari nodul. Hewan, jamur, dan organisme heterotrof lain mendapatkan **nitrogen** sebagai asam amino, nukleotida dan molekul organik kecil.

3. Amonifikasi

Amonifikasi merupakan tahapan dimana sisa-sisa tanaman dan limbah terurai oleh organisme dan menghasilkan amonia yang disebut amonifikasi. Mikroorganisme yang ada dalam tanah tadi akan mengurai bahan organik yang telah mati, agar bisa dijadikan sebuah energi dan bisa menghasilkan amonia serta senyawa dasar lain sebagai produk cadangan. Amonia dalam tanah tadi akan bertahan dengan wujud ion amonium.

4. Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan reaksi penting dalam siklus nitrogen, yaitu oksidasi amonium menjadi nitrit dan oksidasi nitrit menjadi nitrat. Nitrifikasi autotrofik dilakukan oleh dua kelompok bakteri kemolitotrofik yang berbeda, yaitu *ammonia-oxidizing bacteria* (AOB) seperti *Nitrosomonas* dan *nitriteoxidizing bacteria* (NOB) seperti *Nitrobacter* (Prosser 1989). Menurut (Sakai, 1996) (dalam (hildayanti, 2012) Proses nitrifikasi sebenarnya tidak hanya dilakukan oleh bakteri kemolitotrofik tetapi berbagai mikroorganisme lainnya, seperti bakteri heterotrofik, kapang, dan khamir juga mempunyai kemampuan untuk mengoksidasi berbagai komponennitrogen. Nitrifikasi heterotrofik pertama kali dilaporkan pada tahun 1894. Proses ini merupakan komponen minor dari biogeokimia siklus nitrogen (Hans P, 1989) Secara kuantitatif, peran nitrifikasi heterotrofik relatif kecil dibanding nitrifikasi autotrofik, namun nitrifikasi heterotrofik menjadi dominan di tanah hutan konifer yang bersifat asam .Bakteri heterotrofik berperan dalam proses nitrifikasi di alam jika bakteri kemolitoautotrofik berada dalam kondisi tidak aktif, seperti pada tanah yang terlalu asam atau basa, pada kondisi kadar oksigen yang rendah, kadar nitrogen terlarut yang tinggi, suhu yang terlalu rendah atau tinggi, atau terdapatnya senyawa penghambat nitrifikasi seperti nitrapirin (Müller, 2002)

- a. Tahap pertama nitrifiksasi oksidasi yaitu : $2 \text{NH}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{E}$ (79 kalori) Enzimatik
- b. Tahap kedua nitrifikasi oksidasi yaitu: $2 \text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{E}$ (43 kalori). Enzimatik Bakteri autotrofi (bakteri nitrifikasi) dapat menggunakan N-anorganik untuk melakukan nitrifikasi, seperti genera bakteri Nitosomonos, Nitrosococcus Nitrosospira, Nitrosovibrio, dan Nitrosolobus. Pada proses tahap pertama reaksi berlangsung dari ammonium ke nitrit yang melibatkan bakteri Nitrosomonos dan Nitrosococcus dengan persamaan reaksi sebagai berikut: $\text{NH}_4 + \frac{3}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H} \text{ E} = - 65 \text{ kcal}$. Sedangkan reaksi kedua diperankan oleh bakteri Nitrobacter dan *Nitrococcus* sp. yang melakukan oksidasi dari nitrat ke nitric dengan persamaan reaksi sebagai berikut : $\text{NO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3 + \text{E} = - 18 \text{ kcal}$. Reaksi nitrifikasi seperti di atas dapat berlangsung jika adanya oksigen. Proses oksidasi dari NO₂ ke nitrit umumnya lebih cepat dari pada proses oksidasi dari NH₄ ke nitrit, dan nitri ini terakumulasi di lingkungan.

5. Denitrifikasi

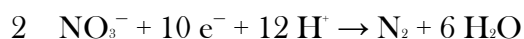
Denitrifikasi merupakan proses reduksian senyawa Nitrat menjadi gas nitrogen atau gas nitrogen oksida, dengan nitrogen bertindak sebagai penerima hydrogen. Produksi nitrogen bebas dari senyawa-senyawa organik tidaklah melalui aksi mikroorganisme, namun terbentuk secara tidak langsung oleh saling tindak antara

asam nitrat bebas dengan senyawa amino, yang keduanya dihasilkan secara bersama melalui biang bakteri. Dalam keadaan anaerob, bakteri aerob dapat memanfaatkan nitrat untuk menggantikan oksigen sebagai penerima elektron, sehingga mengurangi gas-gas produk akhir seperti NO, N₂O atau N₂, tahapan dalam nitrifikasi adalah sebagai berikut: NH₄⁺ + 2O₂ → NO₃⁻ + H₂O + 2H⁺ Gas dinitrogen dan nitrogen oksida adalah dua komponen produk akhir yang sangat penting dan N₂ biasanya diproduksi dari N₂O sedang dari NO dapat terjadi tetapi dalam kondisi tertentu. Terbentuknya N₂O dan N₂ tidak saja dari nitrat selama respirasi, tetapi dapat juga konversi dengan cara asimilasi ke NH₄⁺ dalam komponen organik biomasa. Tentu pula mikroorganisme dapat merubah NO₃⁻ ke NH₄⁺ melalui mekanisme diasimilasi pada kondisi anaerob, mekanisme ini bersama denitrifikasi adalah proses memanfaatkan energi.

Denitrifikasi umumnya berlangsung melalui beberapa kombinasi dari bentuk peralihan sebagai berikut (D. Dwidjoseputro, 1998):

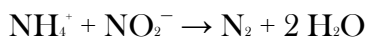


Proses denitrifikasi lengkap dapat dinyatakan sebagai reaksi redoks (D. Dwidjoseputro, 1998):



6. Oksidasi Amonia Anaerobik

Dalam proses biologis, nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen (N₂) gas nitrogen. Proses ini membentuk sebagian besar dari konversi nitrogen unsur di lautan. Reduksi dalam kondisi anoxic juga dapat terjadi melalui proses yang disebut oksidasi amonia anaerobic (D. Dwidjoseputro, 1998).



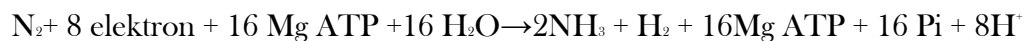
C. Penambatan Nitrogen

Proses reduksi N₂ menjadi NH₄ dinamakan penambatan nitrogen. Proses ini dilakukan oleh mikroorganisme prokariotik, penambatan nitrogen ini melibatkan bakteri tanah yang hidup bebas, sianobakteri (ganggang hijau-biru) yang hidup dipermukaan tanah atau di dalam air, sianobakteri yang hidup bersimbiosis dengan fungi, lumut, pakis dan bakteri yang berasosiasi secara simbiotik dengan akar, khususnya pada tumbuhan kacang. Pada tumbuhan kacang ini, bakteri yang berperan adalah Rhizobium, Bradyrhizobium, dan Azorhizobium. Semua Rhizobium adalah bakteri aerob yang bertahan secara saprofit di dalam tanah sampai mereka menginfeksi bulu akar. Infeksi bakteri ini menyebabkan apa yang kita sebut bintil akar. Tahapan pembentukan bintil akar tersebut sebagai berikut, :

1. Bakteri menginfeksi bulu akar.
2. Enzim dari bakteri merombak dinding sel sehingga bakteri dapat masuk ke Bulu akar membentuk struktur lir- benang yang disebut benang infeksi yang terdiri dari membran plasmalurus dan memanjang dari sel yang terserang.
3. Bakteri membelah dengan cepat di dalam benang yang menjalar , masuk dan menembus sel korteks . Pada sel korteks sebelah dalam, bakteri dilepas ke sitoplasma dan merangsang sel (khususnya sel tetraploid) untuk membelah, yang menyebabkan proliferasi jaringan membentuk bintil akar dewasa. Setiap bakteri yang membesar dan tidak bergerak disebut bakteroid.

4. Bakteroid biasanya berada di sitoplasma secara berkelompok dan masing-masing dikelilingi oleh membran peribakteroid. Antara membran bakteroid dan kelompok bakteroid terdapat daerah yang disebut ruang peribakteroid. Di luar ruang peribakteroid, di sitoplasma terdapat protein yang dinamakan leghemoglobin, yang menyebabkan bintil kacang berwarna merah muda. Dan diperkirakan leghemoglobin mengangkut O_2 untuk bakteri. Penambatan Nitrogen di bintil akar terjadi secara langsung di dalam bakteroid. 5. Tumbuhan inang menyediakan karbohidrat bagi bakteroid, yang akan dioksidasi sehingga diperoleh energi. Beberapa elektron dan ATP yang diperoleh selama oksidasi di bakteroid digunakan untuk mereduksi N_2 menjadi NH_4

Reaksi penambatan nitrogen secara keseluruhan adalah sebagai berikut :



Faktor-faktor yang dapat meningkatkan penambatan nitrogen antara lain (Kimball, 1983):

- a. Faktor Lingkungan Mencakup kelembaban yang cukup, suhu hangat, sinar matahari yang terang, konsentrasi CO_2 yang tinggi.
- b. Faktor Genetik Mencakup proses pengenalan yang dikendalikan secara genetis antara spesies bakteri dan spesies atau varietas tumbuhan kacang dan kemampuan nitrogenase dari semua organisme untuk mereduksi H^+ dan persaingan dengan N_2 serta tahap pertumbuhan. Pada dasarnya jumlah terbesar yang ditambah oleh tumbuhan asli tahunan dan tumbuhan kacang pada pertumbuhan adalah saat perkembangan reproduksi.

D. Reduksi Nitrat Menjadi Ammonium

Reaksi kedua dari proses reduksi nitrat adalah pengubahan nitrit menjadi NH_4 . Nitrit yang ada di sitosol diangkut ke dalam kloroplas di daun atau ke dalam proplastid di akar.

Tahapan reduksi nitrit menjadi ammonium adalah sebagai berikut, (Chapman, 1999) :

1. Di daun, reduksi NO_2 menjadi NH_4 memerlukan enam elektron yang diambil dari H_2O pada sistem pengangkutan elektron non siklik, pada kloroplas selama pengangkutan elektron ini, cahaya mendorong pengangkutan elektron dari H_2O ke ferodoksin (Fd). Reaksinya adalah sebagai berikut :

$$3H_2O + 6Fd + \text{cahaya} \rightarrow 1.5O_2 + 6H^+ + 6Fd$$
2. Kemudian ferodoksin tereduksi memberikan 6 elektron yang digunakan untuk mereduksi NO_2 menjadi NH_4 , reaksinya sebagai berikut :

$$NO_2 + 6Fd(Fe^{+}) + 8H^+ \rightarrow NH_4 + 6Fd(Fe^{+}) + H_2O$$
3. Sehingga keseluruhan proses reduksi nitrit menjadi amonia adalah sebagai berikut:

$$NO_2 + 3H_2O + 2H^+ + \text{cahaya} \rightarrow NH_4 + 1.5O_2 + 2H_2O$$

E. Perubahan Ammonium Menjadi Senyawa Organik

Menurut (Ahmad, 2004) Ketersediaan NH_4 yang berasal dari :

- Penyerapan langsung dari tanah

- Penambatan fiksasi N_2 oleh mikroorganisme
- Reduksi Amonium tidak pernah ditemukan tertimbun di suatu tempat tertentu dalam tubuh tumbuhan karena bersifat racun.

Amonium dapat menghambat pembentukan ATP di kloroplas maupun mitokondria karena bertindak sebagai pemecah senyawa reaksi. Tahapan pengubahan amonium menjadi bahan organik adalah sebagai berikut :

1. Semua NH_4 diubah menjadi gugus amida dari glutamin. Pengubahan ini akan membentuk asam glutamat, asam aspartat, dan asparagin. Glutamin dibentuk dengan penambahan satu gugus NH_2 dan NH_4 ke gugus karboksil terjauh dari karbon alfa asam glutamat. Enzim yang diperlukan adalah glutamin sintase. Hidrolisis ATP menjadi ADP dan Pi yang sangat penting mendorong reaksi lebih lanjut (reaksi 1).
2. Enzim glutamat sintase mengangkut gugus amida dari glutamin ke karbon karboksil asam alfa ketoglutamat, sehingga terbentuk dua molekul asam glutamat. Proses ini membutuhkan feredoksin yang mampu menyumbang 2 elektron yaitu feredoksin di kloroplas dan NADH atau NADPH di proplastid sel-sel non fotosintesis (reaksi 2).
3. Satu asam glutamat yang dihasilkan diperlukan untuk mempertahankan reaksi (1), glutamat yang lain dapat diubah secara langsung menjadi protein, klorofil, asam nukleat dan sebagainya.
4. Selain membentuk glutamat, glutamin dapat menyumbangkan gugus amidanya ke asam aspartat untuk membentuk asparagin. Reaksi ini membutuhkan enzim asparagin sintase. Energi untuk mendorong reaksi diperoleh dari hidrolisis ATP menjadi AMP dan PPi (reaksi 4).
5. Nitrogen dalam aspartat dapat berasal dari glutamat, dan 4 karbonnya mungkin berasal dari asam oksaloasetat. Oksaloasetat dibentuk dari PEP-karboksilase.

Glutamin menjadi bentuk penyimpanan nitrogen utama pada banyak tumbuhan. Glutamin banyak terdapat pada organ-organ penyimpan seperti umbi kentang, akar bit, gula, wortel dan lobak. Sementara aspartat banyak terdapat pada tanaman kacang-kacangan. Pada daun dewasa, glutamin sering dibentuk dari asam glutamat dan NH_4 yang dihasilkan ketika perombakan protein mulai meningkat. Glutamin kemudian diangkut melalui floem ke daun yang lebih muda atau ke akar, bunga, biji, atau buah. Akhirnya glutamin dapat bergabung langsung ke protein pada semua sel dalam bentuk salah satu dari asam amino.

F. Peranan Nitrogen Bagi Pertumbuhan Tanaman

Nitrogen adalah unsur yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Nitrogen merupakan bagian dari protein, bagian penting konstituen dari protoplasma, enzim, agen katalis biologis yang mempercepat proses kehidupan. Nitrogen juga hadir sebagai bagian dari nukleoprotein, asam amino, amina, asam gula, polipeptida dan senyawa organik dalam tumbuhan. Dalam rangka untuk menyiapkan makanan untuk tanaman, tanaman diperlukan klorofil, energi sinar matahari untuk membentuk karbohidrat dan lemak dari C air dan senyawa nitrogen. Adapun peranan N yang lain bagi tanaman adalah :

- Berperan dalam pertumbuhan vegetatif tanaman.
- Memberikan warna pada tanaman,
- Panjang umur tanaman
- Penggunaan karbohidrat.

G. Gejala Kekurangan Dan Kelebihan Unsur N Terhadap Tanaman

Kekurangan salah satu atau beberapa unsur hara akan mengakibatkan pertumbuhan tanaman tidak sebagaimana mestinya yaitu ada kelainan atau penyimpangan-penyimpangan dan banyak pula tanaman yang mati muda yang sebelumnya tampak layu dan mengering. Adapun gejala yang ditimbulkan akibat dari kekurangan dan kelebihan unsure N bagi tanaman adalah sebagai berikut :

1. Efek kekurangan unsur N bagi Tanaman.
 - a. Pertumbuhan kerdil,
 - b. Warna daun menguning,
 - c. Produksi menurun,
 - d. Fase pertumbuhan terhenti,
 - e. Kematian.
2. Efek dari kelebihan unsur N bagi tanaman.
 - a. Kualitas buah menurun.
 - b. Menyebabkan rasa pahit (spt pada buah timun).
 - c. Produksi menurun,
 - d. Daun lebat dan pertumbuhan vegetative yang cepat,
 - e. Menyebabkan keracunan pada tanaman,

REFERENSI

- Ahmad, R. (2004). *Kimia Lingkungan*. Jakarta.: Erlangga.
- Champbell, R. -M. (1999). *Biologi Edisi Kelima (Terjemahan)*. Jakarta.: Erlangga.
- Hans P, R. v. (1989). Heterotrophic Nitrification by *Alcaligenes faecalis*: NO₂-, NO₃- N₂O, and NO Production in Exponentially Growing Cultures. *App. Environ. Mic. 55, No. 8*, 2068-2072.
- hildayanti. (2012). *metabolisme tumbuhan*. tadulako: universitas tadulako.
- Kimball, J. W. (1983). *Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Müller, C. R. (2002). Evidence of carbon stimulated N transformations in grasslandsoil after slurry applications. . *Soil Biol. Biochem*, 1-9.
- Sakai, K. Y. (1996). Nitrite oxidation by heterotrophic bacteria under various nutritional and aerobic conditions. *J.Ferment.Bioeng. 82(6)*, 613-617.

VII. NUTRISI TUMBUHAN

A. Nutrisi pada Tumbuhan

Tumbuhan memerlukan kombinasi yang tepat dari berbagai nutrisi untuk tumbuh, berkembang, dan bereproduksi. Ketika tumbuhan mengalami malnutrisi, tumbuhan menunjukkan gejala-gejala tidak sehat. Nutrisi yang terlalu sedikit atau yang terlalu banyak dapat menimbulkan masalah.

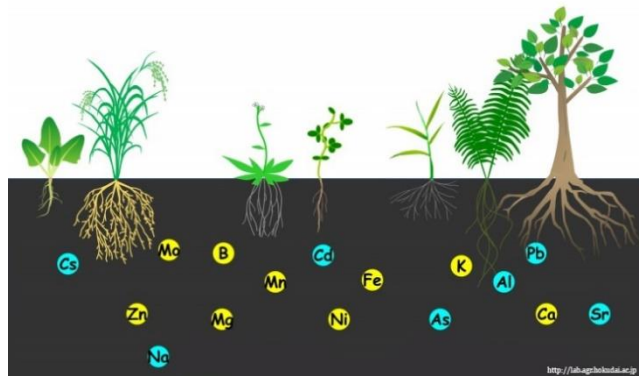
Melalui proses fotosintesis, tanaman mengumpulkan karbon dari atmosfer, ditambah air diubah menjadi bahan organik dengan bantuan sinar matahari. Unsur yang diserap untuk pertumbuhan dan metabolisme tanaman inilah yang disebut dengan hara tanaman. Dengan memanfaatkan unsur-unsur hara, tanaman dapat memenuhi siklus hidupnya. Fungsi suatu unsur hara tidak dapat digantikan oleh unsur lainnya dan apabila tidak tersedia unsur hara tertentu, maka kegiatan metabolisme terganggu atau bahkan berhenti sama sekali. Kekurangan unsur hara akan menampilkan gejala spesifik pada suatu organ tertentu yang biasa disebut gejala kahat. Gejala kahat ini akan hilang apabila unsur hara tanaman ditambahkan ke tanah atau disemprotkan dalam bentuk cairan melalui daun.

Peranan tanah dalam nutrisi tumbuhan, tanah berasal dari pelapukan batuan padat. Begitu memasuki batu, organisme-organisme akan mempercepat perombakan Lichen, fungi, bakteri, lumut, dan akar tumbuhan vaskuler semuanya mensekresi asam, dan perluasan akar yang tumbuh dalam semua aktivitas ini adalah bunga tanah (topsoil), suatu campuran partikel yang diperoleh dari batu, organisme hidup, dan humus, suatu residu bahan organik yang dibusukkan secara bertahap. Aktivitas semua organisme ini mempengaruhi ciri fisik dan kimia tanah tersebut. Cacing tanah, misalnya, mengaerasi tanah melalui sarang luang dalam tanah, dan menambahkan lendir yang menahan partikel tanah yang halus menjadi mengumpul. Metabolisme bakteri mengubah komposisi mineral tanah. Akar tumbuhan mengekstraksi air dan mineral, juga mempengaruhi pH tanah dan memperkuat tanah melawan erosi.

B. Nutrisi yang Diperlukan Tumbuhan

Tanaman memerlukan sumber nutrisi agar bisa tumbuh subur dan menghasilkan produk yang berkualitas untuk digunakan makhluk hidup lainnya. Nutrisi tanaman terbagi dalam dua jenis, yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien dibutuhkan oleh tumbuh-tumbuhan dalam jumlah yang relatif tinggi ketimbang unsur hara mikronutrient. Kandungan unsur hara makro pada jaringan tanaman, seperti N, 1000 kali lebih besar daripada kandungan unsur hara mikro Zn. Berikut ini adalah klasifikasi dari **unsur hara makro** yakni : C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, (Na, Si). Sedangkan yang termasuk **unsur-unsur hara mikro** adalah : Fe, Mn, Zn, Mo, B, Cl. Pembagian nutrisi tanaman atas makro dan mikronutrient bersifat relatif dan kadang-kadang dalam kasus-kasus lainnya kandungan makronutrient dan mikronutrient ternyata lebih mudah daripada yang tercantum diatas. Misalnya saja kandungan nutrisi dari Fe atau Mn ternyata hampir sama atau sebanding dengan kandungan unsur hara dari S atau Mg. Kandungan unsur hara mikro sering melampaui kebutuhan fisiologisnya. Hal ini juga terjadi pada Mn. Klorida juga dibutuhkan

dalam jumlah yang cukup tinggi pada beberapa spesies tanaman yang dibutuhkan pada proses fotosintesis.



[generasibiologi.com](http://lab.agribisnis.ac.id)

Gambar 1: Nutrisi pada Tumbuhan

Unsur esensial merupakan unsur hara yang mutlak diperlukan oleh tanaman agar kelangsungan hidupnya berjalan normal. Menurut Arnon & Stout (1939) suatu unsur dikatakan esensial jika memiliki tiga kriteria sebagai berikut, yaitu : (1) secara langsung terlibat di dalam gizi tanaman dan jika kekurangan unsur tersebut, (2) unsur tersebut harus spesifik dan tidak dapat digantikan oleh unsur yang lain, dan (3) unsur tersebut harus memberikan efek langsung pada pertumbuhan atau metabolisme tanaman dan bukan oleh pengaruh tidak langsung seperti oleh antagonis dengan unsur yang lain, serta akan memperlihatkan gejala yang spesifik jika terjadi kekurangan. Sedangkan unsur hara non esensial merupakan unsur yang diperlukan oleh tanaman untuk aktivitas hidupnya dan tanaman masih dapat hidup normal tanpa adanya unsur hara ini. Unsur hara non-esensial diantaranya adalah Na, Va, Si, J, Co, Br, dan F.

Ditinjau dari segi fisiologis, sebetulnya cukup sulit untuk mengklasifikasikan nutrisi tanaman dalam makronutrien dan mikronutrien, apabila dilihat dari konsentrasi jaringan tanaman itu sendiri. Klasifikasi berdasarkan tingkah laku biokimia dan fungsi fisiologis lebih sesuai. Ditinjau dari segi fisiologis nutrisi tanaman dapat dibagi atas empat kelompok (lihat Tabel 1.1).

1. **Kelompok pertama**, mencakup unsur-unsur pokok dari bahan organik tanaman yakni : C, H, O, N, dan S. Karbon diperoleh dalam bentuk senyawa CO_2 dari atmosfer dan bisa juga dari senyawa HC_3 dalam larutan tanah. Senyawa ini diasimilasikan oleh karboksilase membentuk gugusan karboksilase baru. Proses asimilasi C secara simultan juga diikuti oleh proses asimilasi O, jadi tidak hanya C sendiri tetapi juga CO_2 atau HCO_3^- . Hidrogen diambil dari air pada larutan tanah atau di bawah kondisi atmosfer yang humid. Dalam proses fotosintesis H_2O direduksi menjadi H (fotolisis). Proses transfer ini melalui beberapa proses dan menggunakan senyawa organik yang menghasilkan reduksi nikotinamida adenin dinukleotida (NAD^+) yang kemudian direduksi menjadi senyawa NADPH. Ini merupakan koenzim yang sangat penting dalam proses reduksi-oksidasi, seperti NADPH dapat ditransfer dalam bentuk H menjadi sejumlah senyawa yang berbeda-beda. Nitrogen diperlukan tanaman dalam bentuk nitrat atau ion amonium dari larutan atau gas N_2 dari atmosfer. Proses yang

terakhir disebut Fiksasi molekular N_2 dan melalui beberapa organisme (*Rhizobium*, *Actinomyces alni*) yang bersimbiosis pada tumbuhan tingkat tinggi. Asimilasi N menjadi NO_3^- terjadi akibat proses reduksi dan proses persenyawaan. Amonium -N dalam proses asimilasi juga melibatkan proses persenyawaan. Proses Persenyawaan N dari molekul N_2 tergantung pada proses awal dari N_2 menjadi NH_3 yang selanjutnya dimetabolisme oleh proses persenyawaan. Asimilasi sulfat (S) menjadi NO_3^- -N seperti pada reduksi SO_4^{2-} menjadi gugus -SH. Sulfur tidak saja diperoleh dari larutan tanah dalam bentuk SO_4^{2-} tetapi juga diabsorpsi dari SO_2 dari atmosfer. Reaksi C,H,O,N,dan S menjadi molekul merupakan proses metabolisme fisiologis yang sangat penting bagi tumbuhan. Hal ini akan diuraikan secara mendalam. Dalam bagian ini hanya disebutkan beberapa unsur pokok dari material organik tumbuhan yang diasimilasi dalam reduksi fisiologis yang kompleks.

2. **Kelompok kedua**, adalah gugusan P, B, dan Si serta gugusan lainnya, menunjukkan kesamaan tingkah laku biokimia, semuanya mengabsorpsi anion organik atau zat asam. Dalam sel tumbuhan unsur-unsur ini dalam bentuk bebas atau diabsorpsi tidak dalam bentuk difusi anion organik.
3. **Kelompok ketiga**, adalah K, Na, Mg, Mn, Cl. Kelompok ini diambil dari larutan tanah dalam bentuk ion. Dalam sel tanaman ion-ion ini dalam bentuk ion bebas atau dapat diadsorpsi dan menjadi ion tidak bebas yaitu dalam bentuk anion organik, sebagai contoh penyerapan Ca^{2+} oleh group karboksil dari pektin. Magnesium juga terikat dengan kuat dalam molekul klorofil. Di sini Mg^{2+} adalah dalam bentuk chelat yang diikat oleh ikatan kovalen maupun ikatan koordinat (akan diuraikan lebih lanjut pada hal selanjutnya). Dalam hubungannya dengan Mg^{2+} , elemen ini sangat erat dan mirip dengan kriteria pada group keempat: Zn, Fe, Cu, Mo. Elemen ini secara umum berada dalam bentuk chelat dalam tanaman. Pembagian antara group ketiga dan keempat tidak secara jelas dapat dibagi-bagi untuk Mg^{2+} , elemen Mn dan Ca^{2+} didalam tanaman juga berada dalam bentuk chelat.

Tabel 1.1 Klasifikasi Nutrisi Tanaman

Unsur Hara	Penyerapan	Fungsi Biokimia
Kelompok I C, H,O, N, S	Dalam bentuk CO_2 , HCO_3^- , H_2O , H_2 , NO_3^- , NH_4^+ , N_2 , SO_4^{2-} , SO_2 . Ion dalam larutan tanah, gas-gas dari atmosfer	Sumbangan utama dari bahan organik. Unsur-unsur esensial dari kelompok-kelompok atomik dalam proses enzimatik. Asimilasi oleh reaksi melalui reaksi - reaksi oksidasi - reduksi
Kelompok II P, B, Si	Dalam bentuk fosfat, asam Borik/Borat, Silikat berasal dari larutan tanah	Esterifikasi dengan kelompok alkohol dalam tanaman. Ester - ester Fosfat terlibat dalam reaksi transport energi

Kelompok III K, Na, Mg, Mn, dari larutan tanah. Cl	Dalam bentuk ion - ion	Fungsi ion spesifik membentuk potensial osmotik. Reaksi reaksi yang lebih spesifik melalui konfirmasi protein enzim menjadi siklus optimum (aktivitas enzim). Membatasi reaksi -reaksi berpasangan. Menyeimbangkan anion - anion yang dapat larut dan yang tidak dapat larut.
Kelompok IV Zn, Fe, Cu, Mo	Dalam bentuk ion chelate berasal dari larutan tanah	Sebagian besar berada dalam chelate tergabung dalam kelompok prostetik. Memungkinkan transport elektron melalui pertukaran valensi.

C. Peranan Unsur Mineral dalam Tumbuhan

Unsur	Peranan dalam tanaman
Nitrogen (N)	Penyusun semua protein, klorofil, dan peranan koenzim, dan asam-asam nukleat.
Phospor (P)	a Berperan dalam transfer energi misalnya ADP dan ATP, penyusun beberapa protein, koenzim, asam nukleat, dan substrat metabolisme, berperan dalam pembentukan membran sel misalnya lemak fosfat, berpengaruh terhadap struktur K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , merangsang pertumbuhan akar, merangsang pemekaran bunga, membantu di dalam menguatkan sistem pertahanan utama.
Kalium (K)	Sedikit peranannya sebagai penyusun komponen tanaman. Berfungsi dalam pengaturan metabolisme seperti fotosintesis, translokasi karbohidrat, sintesis protein, untuk pembungaan dan pembuahan, sistem pertahanan tanaman, membantu mengaktifkan enzim-enzim, mengatur kadar air
Kalsium (Ca)	Komponen dinding sel. Berperan dalam struktur dan permeabilitas membran.
Magnesium (Mg)	Penyusun klorofil dan enzim aktivator, Komponen penting di dalam protoplasma tanaman
Belerang (S)	Bagian penting dari protein tanaman. Membantu pembagian sel Mempercepat perkembangan buah Komponen penting di dalam protoplasma
Boron (Bo)	Tidak pasti, tetapi dipercaya penting dalam translokasi gula dan metabolisme karbohidrat. Diperlukan di dalam penguraian karbohidrat
Besi (Fe)	Sintesis klorofil dan enzim-enzim untuk transfer elektron. Penting di dalam sintesis klorofil
Mangan (Mn)	Pengendali beberapa sistem oksidasi- reduksi, pembentukan O_2 dalam fotosintesis. Mengaktifkan sesetengah enzim tanaman

Unsur	Peranan dalam tanaman
Tembaga (Cu)	Katalisator untuk respirasi, penyusun enzim. Komponen di dalam struktur enzim tanaman Memangkin tindak balas pengoksidaan
Seng (Zn)	Dalam sistem enzim, yang mengatur bermacam- macam aktv. metabolik. Mengaktifkan setengah enzim Menghindari buah gugur sebelum matang Merangsang pengeluaran akar
Molibdenum (Mo)	Dalam nitrogenase dibutuhkan untuk fiksasi nitrogen. Komponen enzim yang terlibat dalam metabolisme nitrogen
Kobalt (C) *	Penting untuk fiksasi N secara simbiotik oleh rhizobium.* tidak penting untuk semua tanaman berpembuluh menurut batasan suatu unsur penting oleh Arnon.
Klorin (Cl)	Aktivator sistem untuk menghasilkan O ₂ dalam fotosintesis.

D. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara dan Pemindahan Zat Terlarut

1. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara

Penyediaan unsur hara untuk tanaman terdiri dari tiga kategori, yaitu: (1) tersedia dari udara, (2) tersedia dari air yang diserap akar tanaman, dan (3) tersedia dari tanah. Beberapa unsur hara yang tersedia dalam jumlah cukup dari udara adalah: (a) Karbon (C), dan (b) Oksigen (O), yaitu dalam bentuk karbon dioksida (CO₂). Unsur hara yang tersediadari air (H₂O) yang diserap adalah: hidrogen (H), karena oksigen dari molekul air mengalami proses oksidasi dan dibebaskan ke udara oleh tanaman dalam bentuk molekul oksigen (O₂). Sedangkan untuk unsur hara esensial lain yang diperlukan tanaman tersedia dari dalam tanah. Mekanisme penyediaan unsur hara dalam tanah melalui tiga mekanisme, yaitu:

1. Aliran Masa

Mekanisme aliran massa adalah suatu mekanisme gerakan unsur hara di dalam tanah menuju ke permukaan akar bersama-sama dengan gerakan massa air. Selama masa hidup tanaman mengalami peristiwa penguapan air yang dikenal dengan peristiwa transpirasi. Selama proses transpirasi tanaman berlangsung, terjadi juga proses penyerapan air oleh akar tanaman. Unsur hara yang ketersediaannya bagi tanaman melalui mekanisme ini meliputi: nitrogen (98,8%), kalsium (71,4%), belerang (95,0%), dan Mo (95,2%).

2. Difusi

Ketersediaan unsur hara ke permukaan akar tanaman, dapat juga terjadi karena melalui mekanisme perbedaan konsentrasi. Konsentrasi unsur hara pada permukaan akar tanaman lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi hara dalam larutan tanah dan konsentrasi unsur hara pada permukaan koloid liat serta pada permukaan koloid organik. Beberapa unsur hara yang tersedia melalui mekanisme difusi ini, adalah: fosfor (90,9%) dan kalium (77,7%).

3. Intersepsi Akar

Mekanisme intersepsi akar sangat berbeda dengan kedua mekanisme sebelumnya. Kedua mekanisme sebelumnya menjelaskan pergerakan unsur hara menuju ke akar

tanaman, sedangkan mekanisme ketiga ini menjelaskan gerakan akar tanaman yang memperpendek jarak dengan keberadaan unsur hara. Unsur hara yang ketersediaannya sebagian besar melalui mekanisme ini adalah: kalsium (28,6%).

2. Penyerapan dan Pemindahan Zat Terlarut

Transportasi tumbuhan adalah proses pengambilan dan pengeluaran zat-zat ke seluruh bagian tubuh tumbuhan. Pada tumbuhan tingkat rendah (misal ganggang) penyerapan air dan zat hara yang terlarut di dalamnya dilakukan melalui seluruh bagian tubuh. Pada tumbuhan tingkat tinggi (misal spermatophyta) proses pengangkutan dilakukan pembuluh pengangkut yang terdiri dari xylem dan phloem.

Tumbuhan memperoleh bahan dari lingkungan untuk hidup berupa O_2 , CO_2 , air dan unsur hara. Kecuali gas O_2 dan CO_2 zat diserap dalam bentuk larutan ion. Mekanisme proses penyerapan dapat berlangsung karena adanya proses imbibisi, difusi, osmosis dan transpor aktif.

3. Imbibisi merupakan penyusupan atau peresapan air ke dalam ruangan antar dinding sel, sehingga dinding selnya akan mengembang. Misal masuknya air pada biji saat berkecambah dan biji kacang yang direndam dalam air beberapa jam.
4. Difusi merupakan gerak menyebarnya molekul dari daerah konsentrasi tinggi (hipertonik) ke konsentrasi rendah (hipotonik). Misal pengambilan O_2 dan pengeluaran CO_2 saat pernafasan, penyebaran setetes tinta dalam air.
5. Osmosis merupakan proses perpindahan air dari daerah yang berkonsentrasi rendah (hipotonik) ke daerah yang berkonsentrasi tinggi (hipertonik) melalui membran semipermeabel. Membran semipermeabel adalah selaput pemisah yang hanya bisa ditembus oleh air dan zat tertentu yang larut di dalamnya. Keadaan tegang yang timbul antara dinding sel dengan dinding isi sel karena menyerap air disebut turgor, sedang tekanan yang ditimbulkan disebut tekanan turgor. Untuk sel tumbuhan bersifat selektif semipermeabel. Setiap sel hidup merupakan sistem osmotik. Jika sel ditempatkan dalam larutan yang lebih pekat (hipertonik) terhadap cairan sel, air dalam sel akan terhisap keluar sehingga menyebabkan sel mengkerut. Peristiwa ini disebut plasmolisis.
6. Transpor aktif merupakan pengangkutan lintas membran dengan menggunakan energi ATP, melibatkan pertukaran ion Na^+ dan K^+ (pompa ion) serta protein kontraspor yang akan mengangkut ion Na^+ bersama molekul lain seperti asam amino dan gula. Arahnya dari daerah berkonsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Misal perpindahan air dari korteks ke stele.

E. Penyerapan Garam Mineral Oleh Perakaran Tumbuhan

Garam mineral yang paling mudah tersedia bagi akar adalah yang larut dalam larutan tanah, sekalipun konsentrasinya biasanya rendah. Garam mineral dapat diserap dan diangkut ke atas dari daerah akar yang berambut dan juga dari daerah yang lebih tua yang letaknya beberapa sentimeter dari ujung akarnya. Garam mineral yang paling mudah tersedia bagi akar adalah yang larut dalam larutan tanah, sekalipun konsentrasinya rendah. Unsur-unsur hara ini mencapai akar melalui tiga cara : difusi melalui larutan tanah, dibawa air secara pasif menuju akar dan akar yang tumbuh mendekati unsur tersebut. Walaupun lintasan untuk lalu lintas ion menuju akar dapat beragam, ion harus selalu menerobos

membran plasma sel akar yang hidup bahkan juga saat diserap pertama kali oleh hifa cendawan. Meskipun demikian membran plasma merupakan penghalang utama bagi penyerapan ion. Pengangkutan air dan garam – garam mineral pada tumbuhan tingkat tinggi, seperti pada tumbuhan biji dilakukan melalui dua mekanisme.

1. Pengangkutan Ekstrasikuler

Pengangkutan ini dilakukan di luar berkas pengangkut, maka disebut pengangkutan ekstrasikuler. Zat yang diangkut adalah air dan garam-garam mineral. Dalam perjalanan menuju silinder pusat, air akan bergerak secara bebas di antara ruang antar sel. Pengangkutan air dan mineral dari dalam tanah di luar berkas pembuluh ini dilakukan melalui 2 mekanisme, yaitu **apoplas** dan **simplas**:

1) Pengangkutan Apoplas

Transportasi apoplas ini adalah menyusupnya air tanah secara difusi bebas atau transport pasif melalui semua bagian tak hidup dari tumbuhan, misalnya dinding sel dan ruang-ruang antara sel. Air masuk dengan cara difusi, aliran air secara apoplas tidak dapat terus mencapai xylem karena terhalang oleh lapisan endodermis yang memiliki penebalan dinding sel yang dikenal sebagai *pita kaspari*. Apoplas dapat terjadi pada setiap dinding sel kecuali endodermis. Khusus endodermis dilakukan secara osmosis.

2) Pengangkutan Simplas

Simpas adalah bergeraknya air tanah dan zat terlarut melalui bagian hidup dari sel tumbuhan, misalnya sitoplasma atau vakuola, dari sel ke sel. Pada pengangkutan ini, setelah masuk kedalam sel epidermis bulu akar, air dan mineral yang terlarut bergerak dalam sitoplasma dan vakuola, kemudian bergerak dari satu sel ke sel yang lain melalui *plasmodesmata*. Sistem pengangkutan ini menyebabkan air dapat mencapai bagian silinder pusat. Adapun lintasan aliran air pada pengangkutan simpas adalah sel – sel bulu akar menuju sel – sel korteks, endodermis, perisikel, dan xylem. Dari sini, air dan garam mineral siap diangkut ke atas menuju batang dan daun.

2. Pengangkutan Intravasikuler

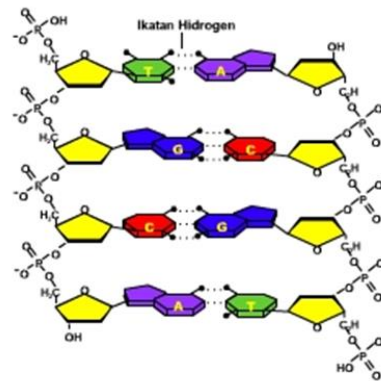
Pengangkutan air dan mineral diserap oleh akar menuju atas ini berlangsung melalui berkas pengangkut, yaitu Xylem, sehingga proses pengangkutan disebut pengangkutan vaskuler. Setelah melewati sel – sel akar, air dan garam mineral dari dalam tanah memasuki tumbuhan melalui epidermis akar, menembus korteks akar, masuk ke stele dan kemudian mengalir naik ke pembuluh xylem sampai pucuk tumbuhan (batang sampai ke mesofil daun). Pembuluh Xylem (kayu) disusun oleh beberapa jenis sel, namun bagian yang berperan penting dalam proses pengangkutan air dan mineral ini adalah sel – sel trakea. Bagian ujung sel trakea terbuka membentuk pipa kapiler. Struktur jaringan xylem seperti pipa kapiler ini terjadi karena sel – sel penyusun jaringan tersebut mengalami fusi (penggabungan). Air bergerak dari sel trakea satu ke sel trakea yang di atasnya mengikuti prinsip kapilaritas dan kohesi air dalam sel trakea xylem.

F. Fungsi Unsur Hara Mineral dan Kekahatannya

1. Fosfor

Di dalam tumbuhan fosfor merupakan bagian dari asam nukleat atau DNA. Pada DNA fosfat merupakan molekul yang menguhungkan satu gula pentosa dengan gula

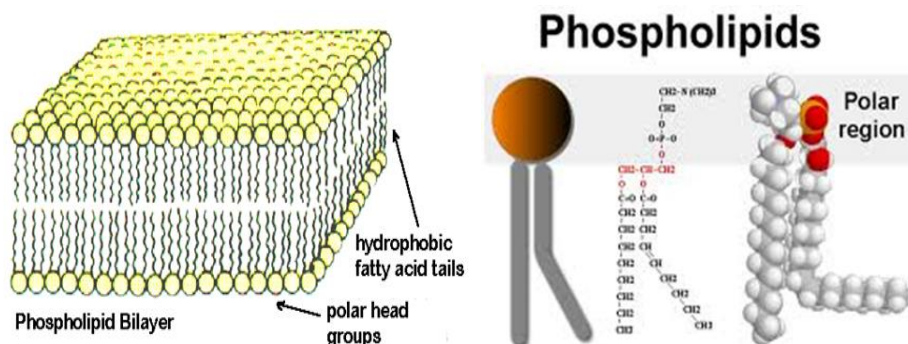
pentosa yang lain. Berikut struktur dari DNA, terlihat phospat menghubungkan gula pentosa dengan gula pentosa yang lain.



Gambar 2: Struktur DNA phospat pada tubuhan

Sehingga apabila dalam tubuh tumbuhan tidak terdapat phospat maka struktur DNA akan rusak. Rusaknya struktur DNA tentu sangat berpengaruh terhadap produksi hormon dan enzim-enzim penting dalam DNA. Karena hormon dan enzim diproduksi melalui sintesis protein yang melibatkan DNA yang mengandung gen sebagai cetak biru.

Dengan tidak diproduksinya hormon maka pertumbuhan tumbuhan akan terganggu, sehingga tumbuhan akan mengalami kekerdilan atau pertumbuhannya lambat. Selain sebagai penyusun DNA, posphat juga menyusun pospolipd yang ada pada membran plasma.

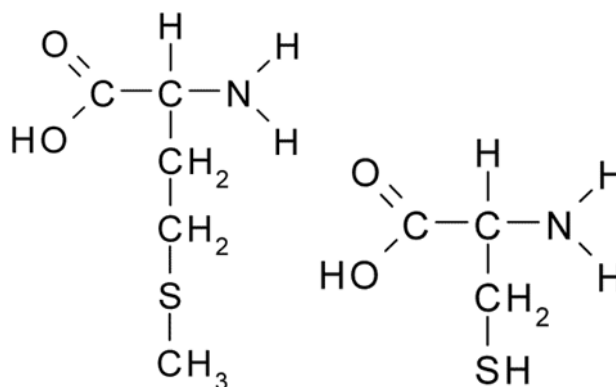


Gambar 3 : Susunan phospholipid pada membrane plasma tumbuhan

Dengan hilangnya phopat dari tumbuhan maka akan berpengaruh terhadap fungsi dari membran plasma sel yang tentunya akan berpengaruh terhadap lalu lintas ion dalam sel. Kekahatan unsur phospat juga menyebabkan peningkatan enzim fosfatase yaitu enzim yang mensintesis unsur fosfat.

2. Sulfur

Dari dalam tanah sulfur diambil dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}). Selain itu juga mengambil sulfur dari atmosfer dalam bentuk SO_2 dalam konsentrasi yang rendah. Sulfur yang dibutuhkan oleh tanaman diubah dalam bentuk tereduksi dan diasimilasikan dengan rangka karbon dalam kloroplas, menjadi sistein dan metionin. Berikut struktur sistein dan metionin dimana terlihat ada unsur sulfur dalam molekulnya.



Gambar 4: Struktur sulfur dalam taah

Klorosis akibat kekurangan sulfur.

Fungsi sulfur adalah sebagai penyusun asam amino metionin dan sistein. Asam amino ini (metionin dan sistein) akan bergabung dengan asam-asam amino yang lain untuk membentuk protein, salah satunya koenzim A. Koenzim A ini berperan dalam pembentukan klorofil. apabila kadar sulfur tidak mencukupi, maka asam amino metionin dan sistein pun sedikit sekali, dan koenzim a yang terbentuk juga sangat sedikit. Sehingga klorofil yang dibentuk pun sedikit, sehingga terjadi klorosis. Sulfur memiliki daya mobilitas yang rendah, sehingga kekurangan terjadi dari daun yang muda. Defisiensi Sulfur ditunjukkan dalam jaringan muda, daun muda menjadi klorosis.



Gambar 5: Daun muda klorosis

G. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Angkutan Mineral

Ada faktor yang dapat mempengaruhi pengangkutan/penyerapan mineral baik secara pasif maupun aktif pada tumbuhan.

1. Suhu

Peningkatan suhu akan meningkatkan kemampuan penyerapan sampai batas suhu tertentu, dan setelah itu akan menurun. Peningkatan suhu juga dapat meningkatkan respirasi, yang secara tidak langsung dapat meningkatkan produksi energi yang sangat diperlukan dalam angkutan aktif. Di lain pihak, suhu tinggi dapat menimbulkan denaturasi protein enzim, sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi penyerapan/angkutan mineral.

2. Konsentrasi ion H^+ (pH)

Perolehan lingkungan dari lingkungan tanaman sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ion H^+ di tempat mineral tersebut berada. Secara umum tumbuhan lebih mudah menyerap mineral dari lingkungannya jika berada pada pH normal yaitu antara 6,5-7.

3. Cahaya

Pengaruh cahaya tidaklah secara langsung. Cahaya penting untuk fotosintesis dan selama proses fotosintesis dihasilkan energi (ATP) yang sangat diperlukan dalam angkutan aktif. Cahaya juga dapat mempengaruhi membuka dan menutupnya stomata yang berkaitan dengan proses transpirasi, sehingga transpirasi yang meningkat akan meningkatkan pengangkutan mineralo melalui aliran masa.

4. Pengudaraan Tanah

Tanah dengan pengudaraan yang baik akan merangsang terjadinya respirasi sel-sel akar sehingga akan ada cukup energy untuk angkutan aktif. Tanah yang memiliki aerasi yang baik akan merangsang respirasi sel-sel akarnya, sehingga angkutan aktif akan ditingkatkan. Aerasi yang tidak baik menghambat penyerapan dan menaikkan kadar CO₂ sehingga dapat meracuni akar.

5. Interaksi

Interaksi ini ada kaitannya dengan pengikatan ion oleh *binding site*. Apabila binding site untuk suatu ion sangat spesifik, maka penyerapan ion tersebut tidak akan mengalami gangguan. Sebaliknya jika hanya ada satu binding site, maka untuk beberapa macam ion akan terjadi kompetisi.

6. Pertumbuhan

Pertumbuhan jaringan atau organ akan menambah luas permukaan. Menambah jumlah sel dan menambah jumlah carrier. Pertumbuhan juga berarti penambahan bahan organik, ini akan menurunkan kadar zat hara tertentu (efek pengenceran) yang dapat memacu penyerapan.

H. Sirkulasi Zat Hara dalam Tumbuhan

Daur hara mikro adalah sebagai berikut : Pangkalan hara mikro dan transformasi: sangat bervariasi, tetapi memiliki proses dan reaksi yang serupa seperti dalam hara makro; Bahan organik, mikrobial dan mineralisasi-imobilisasi; Adsorpsi dan desorpsi pada permukaan; Pelapukan mineral primer; Presipitasi dan disolusi mineral sekunder; Larutan tanah: kelarutan penting untuk kelarutan, pengangkutan dan ketersediaan bagi tanaman. Tanaman menyerap hara dan air dari dalam tanah untuk dipergunakan dalam proses-proses metabolisme dalam tubuhnya. Sebaliknya tanaman memberikan masukan bahan organik melalui serasah yang tertimbun di permukaan tanah berupa daun dan ranting serta cabang yang rontok. Bagian akar tanaman memberikan masukan bahan organik melalui akar-akar dan tudung akar yang mati serta dari eksudasi akar .

REFERENSI

- Epstein, E., and A.J. Bloom. 2004. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Hasnunidah, Neni. 2011 . *Fisiologi Tumbuhan*. Bandar Lampung : Universitas Lampung
- Ikaputri, Anisa. 2011. *Fisiologi Tumbuhan*. <http://blog.uad.ac.id/annisaikaputri/category/fisiologi-tumbuhan>.
- Lakitan, Benyamin. 1995. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.

- Made. 2009. *Bahan Ajar Nutrisi*. <http://made8.wordpress.com/2009/06/09/bahan-ajar-nutrisi-pertemuan-i-dan-ii/>.
- Marschner's, P. 2011. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. London.
- Tan, K.H. 1992. *Dasar-Dasar Kimia Tanah (terjemahaan)*. Gadjah Mada Univ. Press. Bolaksumur Yogyakarta.
- Teddy. 2011. *Transportasi pada Tumbuhan*. <http://tedbio.multiply.com/journal/item/17/Transportasi-pada-Tumbuhan>